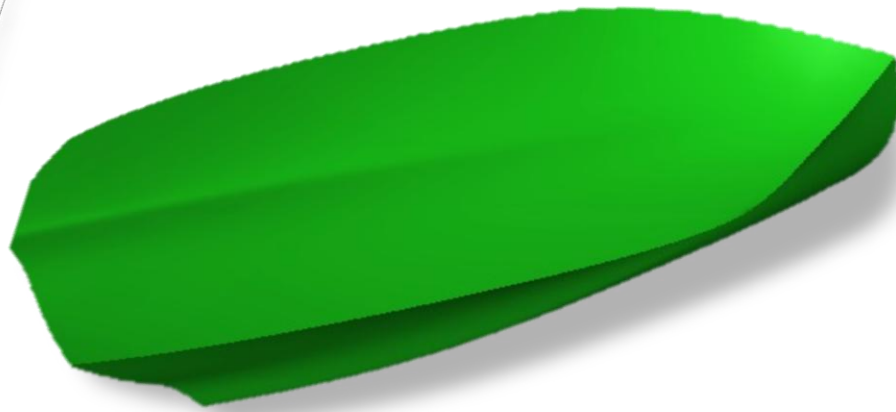




Facultat de Nàutica de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**INGENIERÍA TÉCNICA NAVAL  
ESPECIALIDAD EN PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE**



**DISEÑO DE UNA EMBARCACIÓN  
PLANEADORA DE 5,4 m DE L.O.A.**

**ARANTXA LLAMBRICH PONCE**

**MARCEL·LA CASTELLS SANABRA**

**SEPTIEMBRE 2011**

*A mi familia, por sufrir a mi lado.  
Y, en especial, a Ferran y a Pablo por toda su ayuda.*

## ÍNDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>pág.1</b>
1.1. – Requisitos.....	pág.1
<b>2.- DIMENSIONAMIENTO DE LA EMBARCACIÓN .....</b>	<b>pág.2</b>
2.1. – Base de datos .....	pág.2
2.2. – Relaciones entre dimensiones.....	pág.2
2.2.1. – Relación Eslora – Manga	
2.2.2. – Relación Eslora – Calado	
2.2.3. – Relación Eslora – Desplazamiento	
2.2.4. – Relación Eslora – Potencia	
2.3. – Resultados.....	pág.7
<b>3.- DISEÑO DE FORMAS .....</b>	<b>pág.8</b>
3.1.- Planeo.....	pág.8
3.2.- Formas.....	pág.11
3.2.1.- Ángulo de astilla muerta	
3.2.2.- Complementos	
3.3.- Maxsurf .....	pág.13
<b>4.- CÁLCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO.....</b>	<b>pág.15</b>
4.1.- Método de Savitsky.....	pág.15
4.2.- Hullspeed .....	pág.15
4.3.- Sistema propulsivo .....	pág.19
4.4.- Accesorios.....	pág.19
<b>5.- MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN .....</b>	<b>pág.21</b>
5.1.- Matrices.....	pág.21
5.2.- Recubrimientos .....	pág.23
5.3.- Materiales de refuerzo .....	pág.24
5.4.- Estructuras textiles.....	pág.26
5.5.- Estructura sándwich .....	pág.27
5.6.- Procesos de fabricación .....	pág.29
5.7.- Aplicación .....	pág.31
<b>6.- DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL .....</b>	<b>pág.33</b>
6.1.- Límites de aplicación .....	pág.33
6.2.- Paneles .....	pág.34
6.2.1.- Paneles de fondo	
6.2.1.1.- Cálculo de la presión de diseño del fondo	
6.2.1.2.- Cálculo del escantillonado de los paneles de fondo	
6.2.1.3.- Secuencia del laminado	
6.2.2.- Paneles de costado	
6.2.2.1.- Cálculo de la presión de diseño del costado	
6.2.2.2.- Cálculo del escantillonado de los paneles de costado	
6.2.2.3.- Secuencia del laminado	

6.2.3.- Paneles de cubierta	
6.2.3.1.- Cálculo de la presión de diseño de la cubierta	
6.2.3.2.- Cálculo del escantillado de los paneles de cubierta	
6.2.3.3.- Secuencia del laminado	
<b>6.3.- Refuerzos .....</b>	<b>pág.43</b>
6.3.1.- Mamparos	
6.3.1.1.- Mamparos estancos	
6.3.1.1.1.- Cálculo del escantillado de los mamparos estancos	
6.3.1.1.2.- Secuencia del laminado	
6.3.1.2.- Mamparos no estancos	
6.3.1.2.1.- Cálculo del escantillado de mamparos no estancos	
6.3.1.2.2.- Secuencia del laminado	
6.3.2.- Pantoque	
6.3.2.1.- Secuencia del laminado	
6.3.3.- Quilla	
6.3.3.1.- Secuencia del laminado	
<b>7.- DISEÑO DE EXTERIORES.....</b>	<b>pág.52</b>
<b>8.- EQUIPOS NECESARIOS .....</b>	<b>pág.54</b>
8.1.- Categorías de Diseño .....	pág.54
8.2.- Zonas de Navegación.....	pág.54
8.3.- Equipos de seguridad .....	pág.55
8.3.1.- Material náutico	
8.3.2.- Botiquines	
8.3.2.1.- Tipos de botiquines de urgencias	
8.3.2.2.- Contenido del botiquín número 4	
8.3.3.- Radiocomunicaciones	
8.3.4.- Señales de socorro	
8.3.5.- Salvamento	
8.4.- Luces de navegación .....	pág.59
8.5.- Líneas de fondeo .....	pág.59
8.6.- Sistema de extinción de conraincendios .....	pág.60
8.6.1.- Número de extintores según eslora	
8.6.2.- Número de extintores según la potencia máxima instalada	
8.6.3.- Baldes conraincendios	
8.7.- Equipos de achique .....	pág.62
8.7.1.- Capacidad de las bombas según la eslora	
<b>9.- ESTIMACIÓN DE PESOS.....</b>	<b>pág.63</b>
9.1.- Peso en rosca .....	pág.63
9.1.1.- Peso de la estructura	
9.1.2.- Peso de la maquinaria	
9.1.3.- Peso del equipo	
9.1.4.- Peso en rosca	

<b>9.2.- Peso muerto.....</b>	<b>pág.67</b>
9.2.1.- Plena carga	
9.2.2.- Mínima carga	
<b>9.3.- Condiciones de carga.....</b>	<b>pág.69</b>
9.3.1.- Máxima carga	
9.3.2.- Mínima carga	
<b>9.4.- Cálculo del centro de gravedad .....</b>	<b>pág.70</b>
<b>10.- CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD .....</b>	<b>pág.72</b>
<b>10.1.- Escora .....</b>	<b>pág.72</b>
10.1.1.- Máxima carga	
10.1.2.- Mínima carga	
<b>11.- RESULTADOS .....</b>	<b>pág.75</b>
<b>12.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>pág.76</b>
<b>13.- BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>pág.78</b>
<b>14.- ANEXO I. PNB .....</b>	<b>pág.80</b>
<b>15.- ANEXO II. MÉTODO SAVITSKY.....</b>	<b>pág.81</b>
<b>16.- ANEXO III. DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL .....</b>	<b>pág.87</b>
<b>17.- ANEXO IV. CÁLCULO DE PESOS .....</b>	<b>pág.101</b>
<b>18. ANEXO V. PLANOS .....</b>	<b>pág.102</b>

## 1. - INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en el diseño de una embarcación de recreo de alta velocidad de 5,4 metros de eslora.

Para ello, una vez se establezcan los requisitos para el diseño de dicha embarcación se procederá al diseño de las formas del casco y diseño de interiores, a partir de la base de datos ya creada de embarcaciones de recreo similares ya existentes.

Seguidamente se calculará la potencia, la resistencia y se elegirá el sistema propulsivo más adecuado para esta embarcación.

En cuanto a la estructura, se estudiarán los diferentes métodos de construcción del casco, así como los diferentes materiales para su fabricación, escogiendo, finalmente, el más adecuado para esta embarcación. También, se realizará el cálculo de la estructura y la disposición de todos los elementos de refuerzo.

Para terminar, se efectuará el cálculo de pesos y, una vez obtenido el peso de la embarcación, se procederá al cálculo de la estabilidad de la embarcación.

### **1.1. REQUISITOS**

El proyecto consistirá en el diseño de una embarcación de recreo de alta velocidad a motor, en este caso, un motor fueraborda, de no más de 6 metros de eslora, dirigida a personas que solamente posean el título de *Patrón para Navegación Básica (PNB)*, de esta manera no será necesario cursar un título superior económicamente más caro.

En el diseño de exteriores cabe incorporar una zona para poder tomar el sol (sofás) y otra zona para poder sentarse. No habrá espacios interiores, de modo que, la embarcación solamente será utilizada en la época de verano.

En cuanto a velocidad, ésta será de unos 40 nudos máximo.

En definitiva, se busca una embarcación ergonómica, atractiva en cuanto a diseño y de un coste económico adecuado a su diseño.

## 2. - DIMENSIONAMIENTO DE LA EMBARCACIÓN

La primera fase del proyecto de la embarcación consiste en realizar un dimensionamiento de ésta, es decir, determinar las dimensiones principales de la embarcación una vez claros los requisitos a seguir, ya citados en el capítulo anterior.

### 2.1. BASE DE DATOS

En el presente capítulo se prosigue a la obtención de dichas dimensiones. Para ello es necesaria la recopilación de los datos más significativos de embarcaciones similares ya existentes. Estos datos corresponden a la eslora, manga, calado y desplazamiento. Una vez adquiridos los parámetros ya mencionados de distintas embarcaciones muy similares, se han seleccionado nueve para poder crear la siguiente base de datos:

<i>Base de datos</i>					
<i>Embarcación</i>	<i>Eslora - L (m)</i>	<i>Manga - B (m)</i>	<i>Calado - T (m)</i>	<i>Desplazamiento - Δ (kg)</i>	<i>Potencia - P (HP)</i>
<i>Bayliner 180 Runabout</i>	5,49	2,29	0,36	852	90
<i>Galia 515 Browrider</i>	5,2	2,1	0,37	851	60
<i>White Shark 175</i>	5,21	2,15	0,35	600	115
<i>Quicksilver 520 Open</i>	5,2	2,28	0,33	580	115
<i>White Shark 185 Open</i>	5,43	2,3	0,35	700	115
<i>Quicksilver 550 Commander WA</i>	5,5	2,28	0,38	740	115
<i>Quicksilver 580 Open</i>	5,9	2,48	0,38	900	175
<i>Rio 500 Sol</i>	5	2,2	0,34	630	90
<i>Trophy 1806 Dual Console</i>	5,64	2,49	0,36	946	150

### 2.2. RELACIONES ENTRE DIMENSIONES

El parámetro más importante es la eslora de la embarcación. De modo que, la eslora será uno de los valores a decidir inicialmente para que a partir de éste se obtenga el valor del resto de

dimensiones. Los valores de la manga, calado y desplazamiento se obtendrán a partir de relaciones entre las dimensiones correspondientes a nuestra base de datos.

<b>Eslora (m)</b>	5,4
-------------------	-----

Una vez elegido el valor de la eslora se procederá a la obtención del resto de las dimensiones a partir de regresiones lineales estadísticas:

- Relación eslora (L)-manga (B)
- Relación eslora (L)- calado (T)
- Relación eslora (L) – desplazamiento ( $\Delta$ )

Las nueve embarcaciones han sido seleccionadas de tal manera que el valor de  $R^2$  (coeficiente de determinación, R coeficiente de correlación) sea lo más elevado posible en todas las relaciones. Este valor indica el grado de relación entre las dos variables.

### 2.2.1. RELACIÓN ESLORA-MANGA

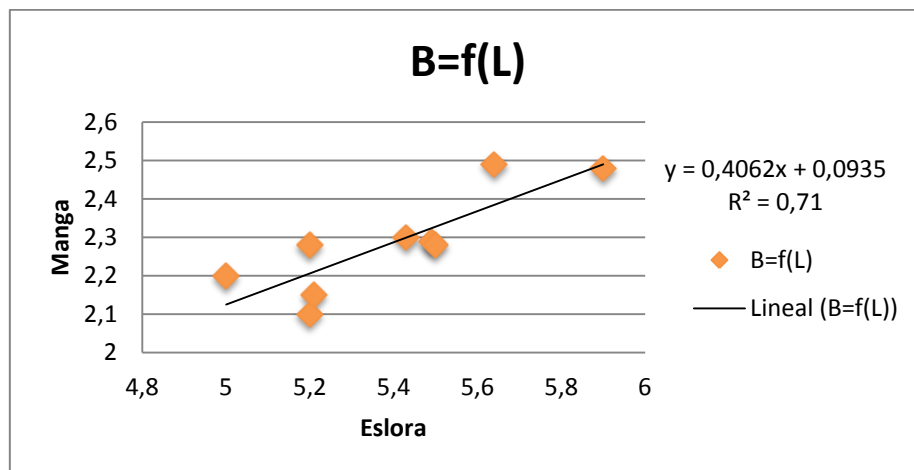


Fig.1 Gráfico Eslora-Manga.

$$y = 0,4062 \cdot x + 0,0935$$

Donde,

y = manga

x = eslora = 5,4



De modo que se obtiene el valor de la manga,

<b>Manga (m)</b>	2,29
------------------	------

### 2.2.2. RELACIÓN ESLORA-CALADO

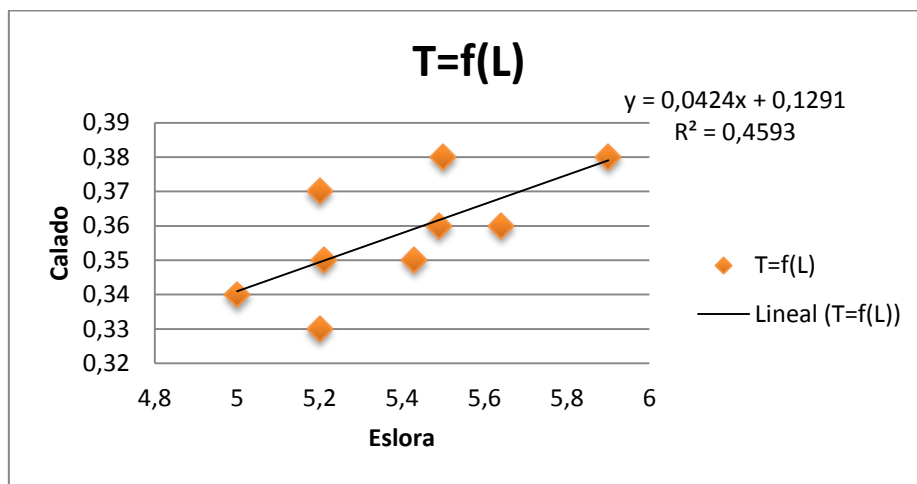


Fig.2 Gráfico Eslora-Calado.

$$y = 0,0424 \cdot x + 0,1291$$

Donde,

$$y = \text{calado}$$

$$x = \text{eslora} = 5,4$$

De modo que se obtiene el valor del calado,

<b>Calado (m)</b>	0,36
-------------------	------

### 2.2.3. RELACIÓN ESLORA – DESPLAZAMIENTO

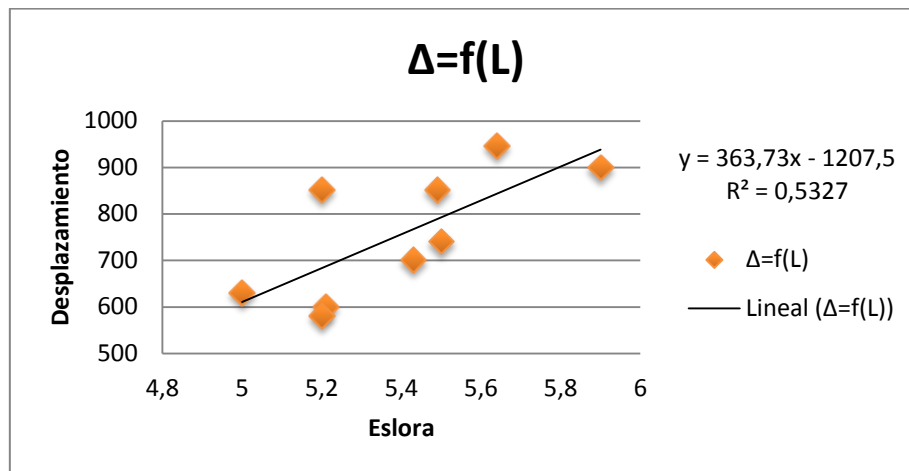


Fig.3 Gráfico Eslora-Desplazamiento.

$$y = 363,73 \cdot x + 1207,5$$

Donde,

y = desplazamiento

x = eslora = 5,4

De modo que se obtiene el valor del desplazamiento,

<b>Desplazamiento (Kg)</b>	756,64
----------------------------	--------

#### 2.2.4. RELACIÓN ESLORA – POTENCIA

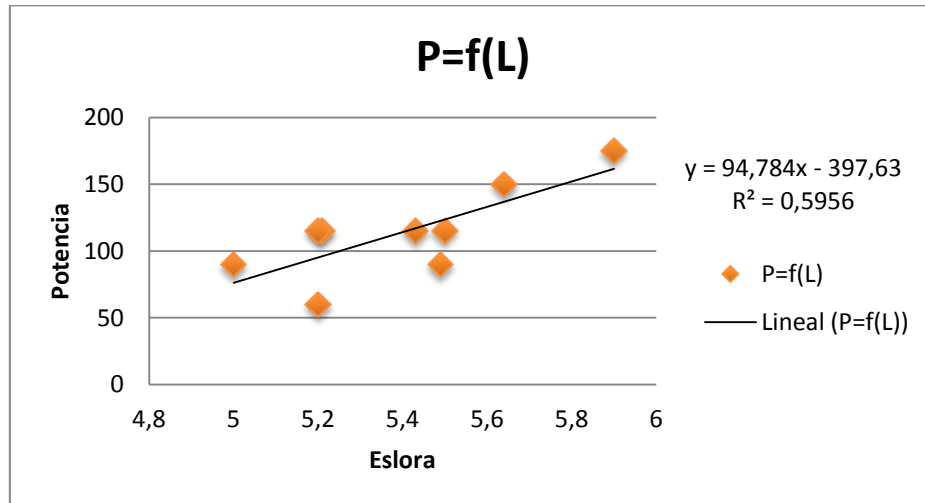


Fig.4 Gráfico Eslora-Potencia.

$$y = 94,784 \cdot x - 397,63$$

Donde,

y = potencia

x = eslora = 5,4

De modo que se obtiene el valor de la potencia,

<b>Potencia (HP)</b>	114,20
----------------------	--------

### 2.3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las dimensiones principales de la embarcación a diseñar son los siguientes:

<i>Dimensiones principales</i>	
<b>Eslora (m)</b>	5,4
<b>Manga (m)</b>	2,29
<b>Calado (m)</b>	0,36
<b>Desplazamiento (kg)</b>	756,64
<b>Potencia (HP)</b>	114,20

A partir de estos valores se empezará el diseño de la embarcación mediante el programa informático Maxsurf.

### 3. - DISEÑO DE FORMAS

Una vez se han obtenido las dimensiones principales de la embarcación, descritas en el capítulo anterior, se procederá al diseño de formas de ésta. El diseño de formas de una embarcación dependerá de la función que deba ejercer ésta una vez construida, de modo que, en este caso, será necesario realizar un estudio en cuanto a formas para una embarcación de planeo.

#### 3.1. PLANEEO

Tal y como afirma Arquímedes, todo cuerpo sumergido en un fluido, con velocidad cero, experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido desalojado. No obstante, tan pronto el cuerpo empieza a moverse, esto cambia.

Para facilitar el entendimiento de las fuerzas que se ejercen sobre un cuerpo en un fluido, se realiza el estudio sobre una placa plana. Cuando el cuerpo se encuentra en reposo, éste ejerce una presión, llamada presión hidrostática, provocando una fuerza vertical hacia arriba igual al peso desalojado. En cambio, cuando ésta se encuentra en movimiento, la placa ejerce una presión, llamada presión hidrodinámica, que provoca que las partículas de fluido que se encuentran alrededor de la placa se aceleren, produciendo una fuerza de igual dirección y sentido que la producida por la placa. Esta fuerza es responsable, en mayor valor respecto a la fuerza hidrostática, de la resistencia a la viscosidad y de la resistencia a las olas, y es responsable del levantamiento de la placa, tal y como indica la siguiente figura:

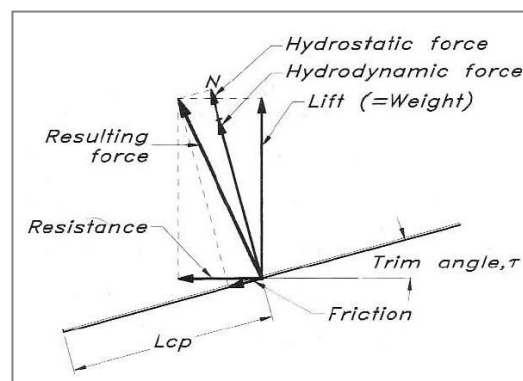


Fig.5 Fuerzas sobre una placa plana. LARSSON L., E ELIASSON R. *Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.

A elevadas velocidades, la presión hidrodinámica puede considerarse elevada, levantando más o menos el cuerpo fuera del agua. De modo que, cuando el cuerpo está soportado por la presión hidrodinámica se considera que éste está *planeando*.

En la siguiente figura se muestra cómo actúa el fluido sobre la placa:

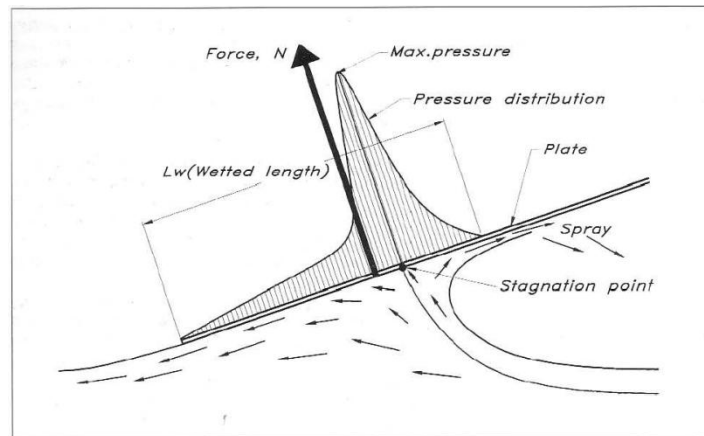


Fig.6 Presión y velocidad sobre una placa plana. LARSSON L., E ELIASSON R. *Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.

Tal y como muestra la figura, existe un punto donde la presión hidrodinámica es muy elevada, llamado *stagnation point*, donde el fluido se divide en dos partes, una parte va hacia atrás y la otra hacia delante. Se observa que a ambas partes de este punto la presión se reduce. Esto ocurre en el borde de salida y en el lugar donde la dirección de la velocidad es paralela a la placa. La capa de agua va disminuyendo, siendo cada vez más pequeña hasta que, finalmente, se rompe.

A continuación en la siguiente figura se puede observar cómo actúan estas fuerzas, citadas anteriormente, en el casco de una embarcación:

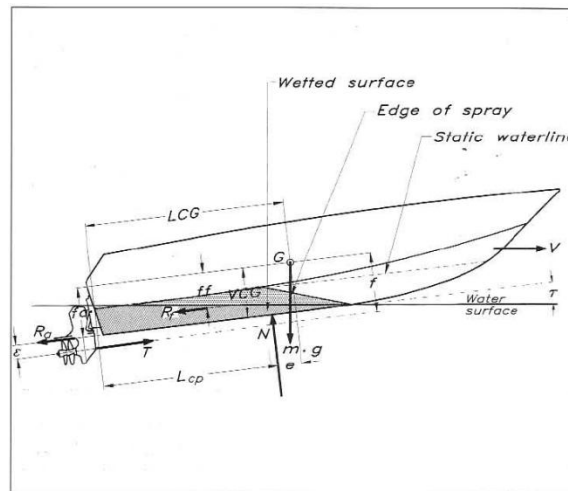


Fig.7 Fuerzas sobre un casco. LARSSON L., E ELIASSON R.  
*Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.

Finalmente, a partir del número de Froude se puede determinar el régimen de desplazamiento de la embarcación.

El número de Froude es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido. Este dependerá de la velocidad y la eslora de la embarcación,

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

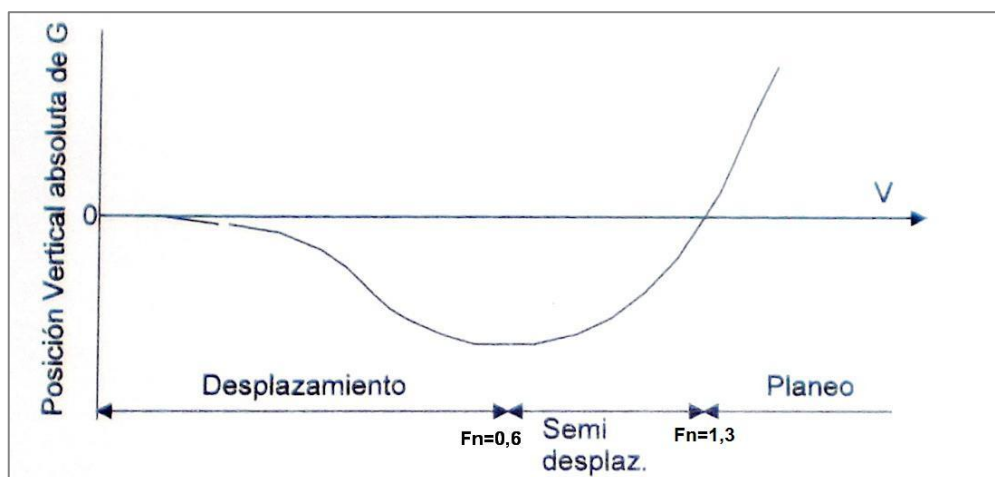


Fig.8 Gráfico posición vertical del CG – régimen de desplazamiento. ADRIÁN PRADA. *Fonaments de la construcció naval i propulsors*. Facultat de Nàutica 2009.

- **Desplazamiento:** las embarcaciones de desplazamiento son aquellas con un número de Froude comprendido entre 0 y 0,6. Donde la posición vertical del centro de gravedad va disminuyendo al aumentar el número de Froude hasta llegar a su posición más baja para un Froude de 0,6. En este caso la sustentación hidrodinámica es totalmente despreciable.
- **Semidesplazamiento:** las embarcaciones de semidesplazamiento están comprendidas entre 0,6 y 1,3 aproximadamente. En este caso, el centro de gravedad recupera su nivel estático. Las fuerzas hidrodinámicas empiezan a ser positivas.
- **Planeo:** las embarcaciones de planeo son aquellas con un número de Froude mayor a 1,3. Donde la posición del centro de gravedad va aumentando, siendo ésta positiva. En este caso, la sustentación hidrodinámica incrementa considerablemente.

### 3.2. FORMAS

La mejor forma para una embarcación de éste tipo sería la de una placa plana, como por ejemplo las planchas de surf o los esquís acuáticos, pero es evidente que un barco con estas características sería una auténtica tortura para los pasajeros al paso de las olas ya que las aceleraciones verticales serían demasiado elevadas. De modo, que se opta por una forma en V, ya que de esta manera se reducen las aceleraciones, y es la que mejor se comporta en cuanto al planeo y al paso de las olas.

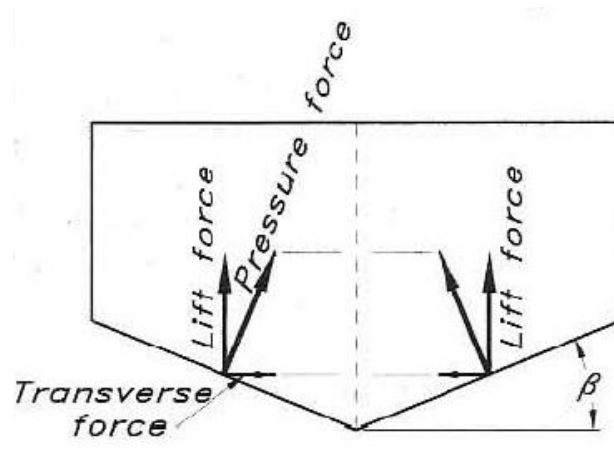


Fig.9 Forma en V. La influencia del ángulo de astilla muerta.  
LARSSON L., E ELIASSON R. *Principles of yacht design*, 3a ed.,  
Londres 2007.



### 3.2.1. ÁNGULO DE ASTILLA MUERTA

Existe un problema en cuanto al ángulo de astilla muerta,  $\beta$ , y es que reduce el levantamiento de la embarcación, aumentando de esta manera la superficie mojada y provocando el aumento de la resistencia.

Tal y como se ha explicado anteriormente, la presión hidrodinámica se produce por la aceleración de las partículas de agua las cuales se han visto obligadas a cambiar de dirección cuando entran en contacto con la superficie del casco y ésta es la causante de levantar la embarcación. En el caso de una placa plana, el agua golpea toda la superficie al mismo tiempo provocando que el cambio de dirección del fluido sea de casi unos 180°, dando lugar a una elevada presión. En cambio, en el caso de las secciones en V, el cambio de dirección es mucho menor, el agua no golpea toda la superficie al mismo tiempo, es decir, el casco se sumerge lentamente, provocando que la fuerza de sustentación disminuya.

### 3.2.2. COMPLEMENTOS

Para solucionar el problema que generan las secciones en V, existen unos componentes llamados **spray rails**. Se trata de unos elementos que se ubican longitudinalmente a lo largo del casco cuya función consiste en provocar un mayor cambio de dirección de las partículas de agua que golpean la superficie del casco, significando esto un aumento en la fuerza de sustentación. En la siguiente imagen se observa que forma presenta este complemento:

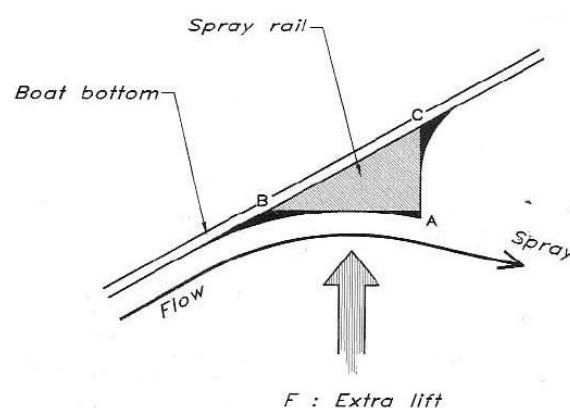


Fig.10 Sección de los *spray rails*. LARSSON L., E ELIASSON R.  
*Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.

### 3.3. MAXSURF

Finalmente, con la información obtenida de los dos capítulos anteriores, se procede al diseño de la embarcación mediante el programa informático *Maxsurf*.

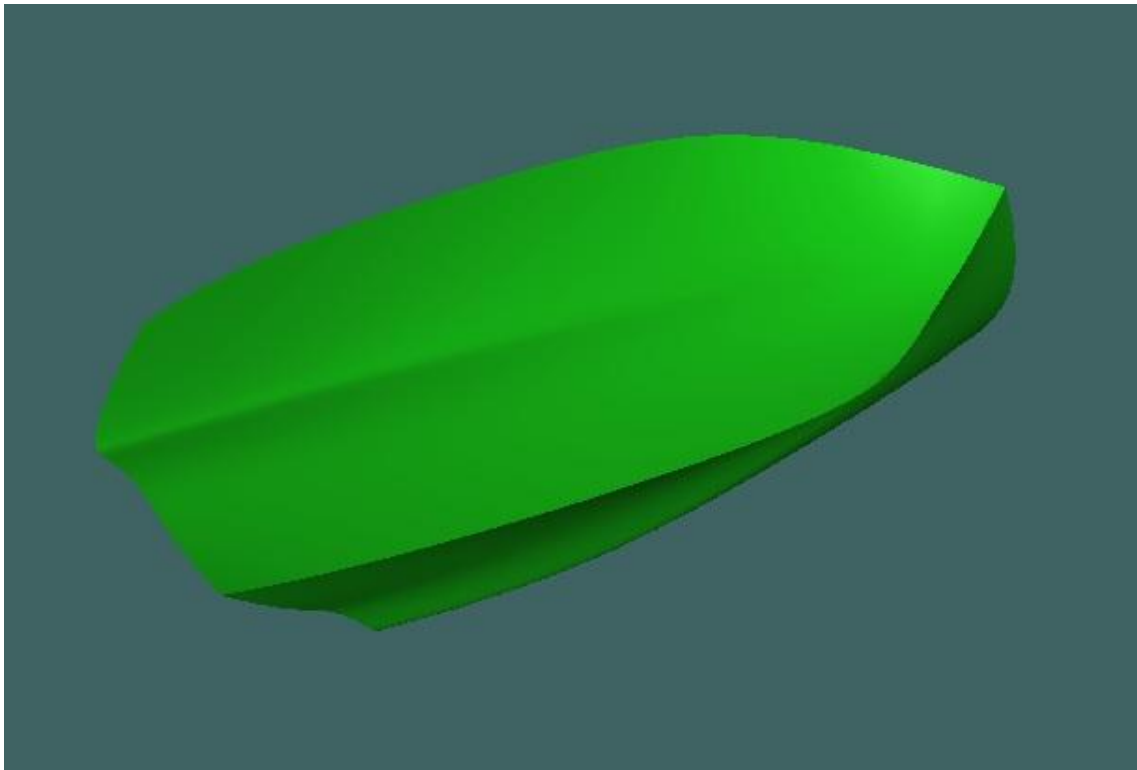


Fig.11 Imagen de la embarcación des del programa informático Maxsurf. FUENTE PROPIA.

Los resultados obtenidos de la nueva embarcación son los siguientes:

Eslora (m)	5,457
Eslora en la flotación (m)	5,040
Manga (m)	2,243
Manga en la flotación (m)	1,912
Calado (m)	0,357
Desplazamiento (kg)	756,652

De modo que comparándolos con los resultados obtenidos de las regresiones se observa que son prácticamente iguales. Para conseguirlo, se realizaron distintos tipos de embarcaciones hasta conseguir la embarcación que se ajustaba a las dimensiones obtenidas a partir de la base

de datos inicial. De esta manera se optó por modificar la embarcación, en lugar de modificar la base de datos, ya que también era otra opción.

<b>Comparación</b>			
<b>Dimensiones mediante regresiones</b>		<b>Dimensiones obtenidas</b>	
<b>Eslora (m)</b>	5,4	<b>Eslora (m)</b>	5,457
<b>Manga (m)</b>	2,29	<b>Manga (m)</b>	2,243
<b>Calado (m)</b>	0,36	<b>Calado (m)</b>	0,357
<b>Desplazamiento (kg)</b>	756,64	<b>Desplazamiento (kg)</b>	756,652

Cabe destacar que, en el momento de crear la base de datos, se tuvo en cuenta el tipo de embarcaciones que la compondrían, en cuanto a dimensiones y régimen de desplazamiento, para que más adelante no hubiesen demasiados problemas en el diseño de la embarcación.

## 4 . - DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA, RESISTENCIA Y SISTEMA PROPULSIVO

En el siguiente capítulo se procederá al cálculo de la potencia y, consecuentemente, se escogerá el motor fueraborda adecuada para la embarcación.

### **4.1. MÉTODO DE SAVITSKY**

Para calcular la potencia necesaria de la embarcación se utilizará el **Método de Savitsky** para embarcaciones planeadoras. Este método se basa en estudios realizados sobre placas planas en régimen de planeo y que, finalmente, se aplican a embarcaciones. En el anexo 2 se detallan los cálculos a realizar de dicho método. Actualmente, existe un programa informático llamado Hullspeed que permite el cálculo de la potencia y la resistencia de la embarcación sin la necesidad de realizar a mano los cálculos. De modo que en el apartado siguiente, mediante dicho programa, se obtendrá el valor de la resistencia y la potencia en función de la velocidad.

### **4.2. HULLSPEED**

A continuación, se obtienen los gráficos potencia-velocidad y resistencia-velocidad mediante el programa Hullspeed.

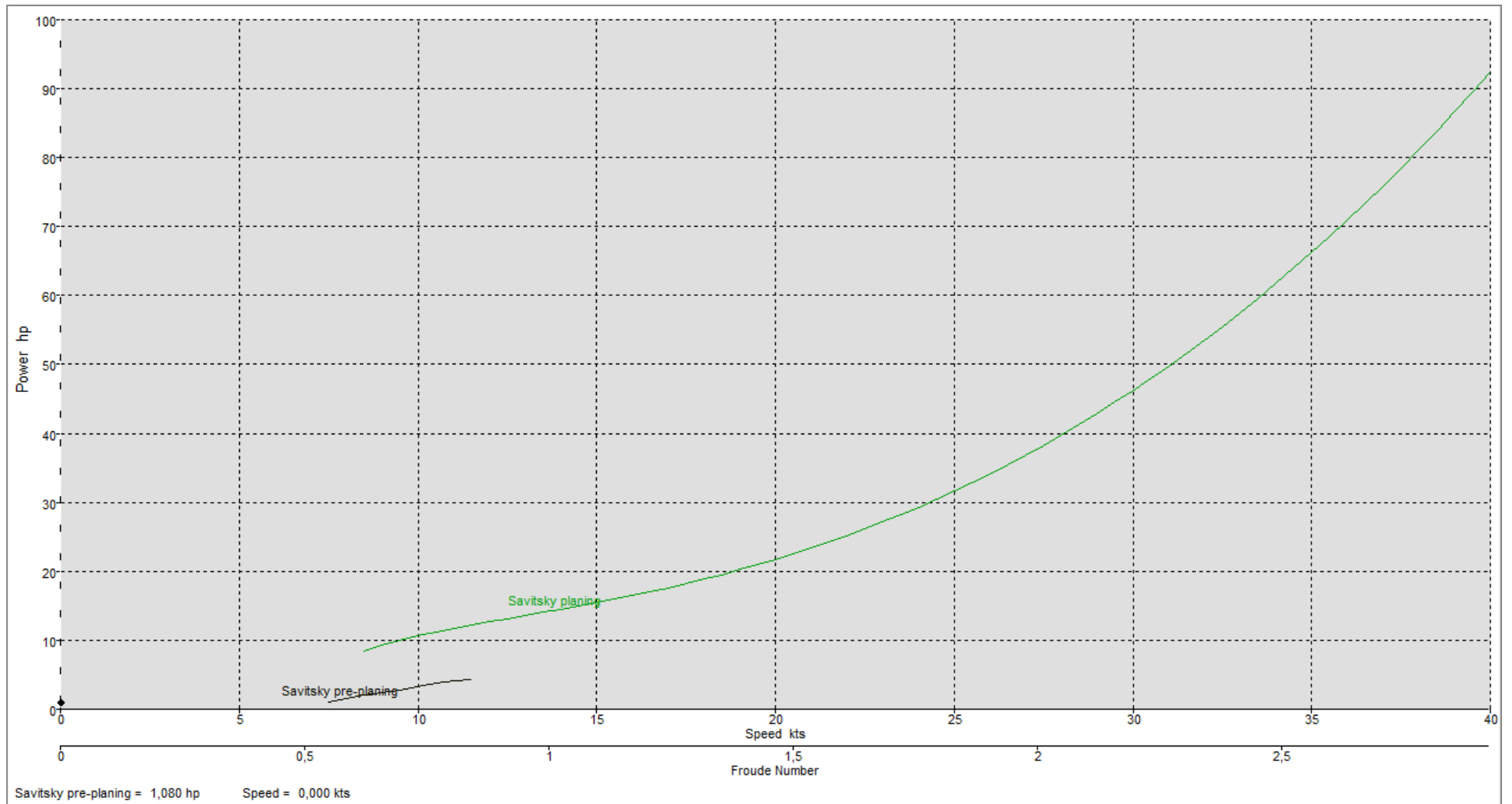


Fig.12 Gráfico potencia-velocidad. FUENTE PROPIA. Programa informático Hullspeed.

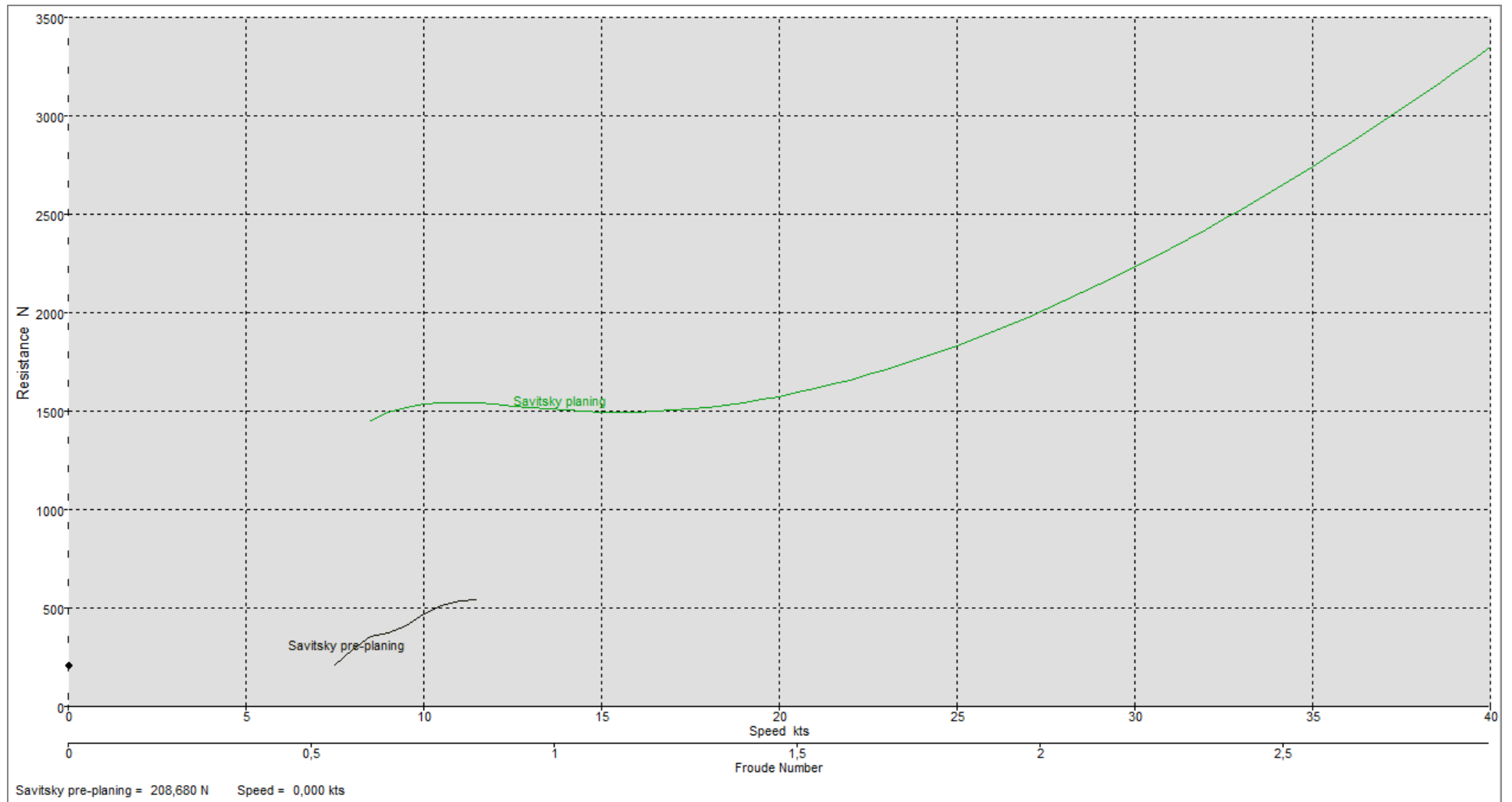


Fig.13 Gráfico resistencia-velocidad. FUENTE PROPIA. Programa informático Hullspeed.

A continuación, se muestra la tabla que corresponde a los gráficos anteriores:

	Speed (kts)	Savitsky Resist. (N)	Savitsky Power (hp)	Savitsky Resist. (N)	Savitsky Power (hp)
3	2	--	--	--	--
4	3	--	--	--	--
5	4	--	--	--	--
6	5	--	--	--	--
7	6	--	--	--	--
8	7	--	--	--	--
9	8	290,24	1,6	--	--
10	9	375,7	2,33	1492,81	9,27
11	10	472,18	3,26	1536,07	10,6
12	11	534,64	4,06	1543,95	11,72
13	12	--	--	1534	12,7
14	13	--	--	1518,54	13,62
15	14	--	--	1504,85	14,53
16	15	--	--	1496,8	15,49
17	16	--	--	1496,21	16,52
18	17	--	--	1503,78	17,64
19	18	--	--	1519,6	18,87
20	19	--	--	1543,46	20,23
21	20	--	--	1575	21,73
22	21	--	--	1613,82	23,38
23	22	--	--	1659,5	25,19
24	23	--	--	1711,65	27,16
25	24	--	--	1769,92	29,3
26	25	--	--	1833,99	31,63
27	26	--	--	1903,54	34,14
28	27	--	--	1978,33	36,85
29	28	--	--	2058,13	39,76
30	29	--	--	2142,72	42,87
31	30	--	--	2231,94	46,19
32	31	--	--	2325,62	49,74
33	32	--	--	2423,62	53,5
34	33	--	--	2525,81	57,5
35	34	--	--	2632,08	61,74
36	35	--	--	2742,33	66,22
37	36	--	--	2856,47	70,94
38	37	--	--	2974,42	75,92
39	38	--	--	3096,1	81,17
40	39	--	--	3221,45	86,67
41	40	--	--	3350,41	92,46

Fig.14 Tabla de los resultados de los gráficos potencia-velocidad y resistencia-velocidad. FUENTE PROPIA. Programa informático Hullspeed.

#### 4.3. SISTEMA PROPULSIVO

Finalmente, una vez obtenido el cálculo de la potencia necesaria para la embarcación se procederá a la elección de un motor fueraborda adecuado.

A continuación, se muestra el motor escogido para dicha embarcación:

Se trata de un motor fueraborda **Suzuki DF 115**, especialmente diseñado para este tipo de embarcaciones. Dicho motor da una potencia de 115 HP.



Fig.15 Motor fueraborda Suzuki DF 115.  
Web [www.movilmotors.com](http://www.movilmotors.com).

En este caso, para esta embarcación, a una velocidad de 40 nudos le corresponde una potencia de unos 87 HP, de modo que resulta necesario escoger un motor con una potencia un tanto superior, ya que hay que tener en cuenta las pérdidas que se producen en la transmisión, en la combustión y en la hélice.

#### 4.4. ACCESORIOS

Para mejorar el planeo y la estabilidad de la embarcación se le incorporara al motor fueraborda una **aleta estabilizadora**.





Fig.16 Aleta estabilizadora. Web [www.larevistanautica.com](http://www.larevistanautica.com).

Este tipo de complemento presenta un diseño hidrodinámico que permite mejorar el rendimiento global de la embarcación durante la navegación. La aleta estabilizadora lo que hace es mantener la embarcación en planeo a velocidades mucho más bajas proporcionando un mayor control, reducir las cavitaciones, el delfineo, las pérdidas de propulsión de la hélice, ahorrar en combustible y alisa la estela para mejorar, por ejemplo, la práctica del esquí acuático.

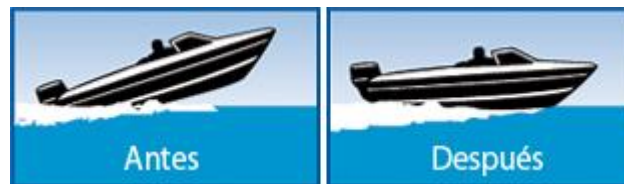


Fig.17 Comportamiento de la embarcación sin y con la aleta estabilizadora. Web [www.larevistanautica.com](http://www.larevistanautica.com).

Su montaje es de gran facilidad. Ésta se monta sobre la placa de anti-cavitación requiriendo taladrar agujeros en dicha placa o utilizar el soporte adicional tal y como se observa en la fotografía.



Fig.18 Montaje aleta estabilizadora. Web [www.larevistanautica.com](http://www.larevistanautica.com).

## 5. - MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

Una vez realizado el estudio de los diferentes materiales disponibles en el mercado para la construcción de embarcaciones y los distintos tipos de procesos para su fabricación, se muestran, a continuación, aquellos materiales y proceso más adecuados para este tipo de embarcación.

En este caso, se tendrá en cuenta el material y proceso más apropiado para el tipo de embarcación, es decir, una embarcación de planeo, y que sea lo más económico posible, de esta manera se cumplirán los requisitos establecidos en el primer capítulo.

Se iniciará el capítulo tratando las matrices, siguiendo con el tipo de recubrimiento escogido, el material de refuerzo y la estructura textil. También, se hablará de la estructura sándwich, que como ya se verá más adelante se utilizará para la construcción de los refuerzos y, finalmente, se describirá brevemente el proceso de construcción de la embarcación.

### **5.1. MATRICES / RESINAS**

La función de las matrices consiste en proteger el material de refuerzo de los agentes externos.

Seguidamente, se muestra una lista de los diferentes tipos de matrices poliméricas existentes. Solamente, se prestará mayor atención a dos de éstas, de las cuales se narra una pequeña descripción y de los motivos por las cuales han sido elegidas o rechazadas. Estas resinas son las ***resinas de poliéster*** y las ***resinas epoxi***.

- Resinas de poliéster
- Resinas de viniléster
- Resinas epoxi
- Resinas fenólicas
- Resinas bismaleimida
- Resinas poliimida

- Esteres de cianato
- Polieteramida

Las *resinas epoxi* son las más utilizadas en los materiales de alta calidad ya que estas poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que otras resinas. Éstas se utilizan para la construcción de estructuras que requieran buena resistencia con el mínimo peso, es decir, para embarcaciones de regata, embarcaciones de alta velocidad, aplicaciones de defensa, aplicaciones aeroespaciales, eléctricas, electrónicas, en herramientas, equipos químicos, depósitos y tanques de almacenamiento, adhesivos, tuberías, etc. De modo que dicha resina sería la perfecta para la construcción de la embarcación.

Para terminar de convencer de que este tipo de resina es la más apropiada en cuanto a sus características, seguidamente, se dictan las más relevantes:

- Mejores propiedades mecánicas.
- Mayor resistencia térmica.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Baja contracción durante el curado (0-1%).
- Buenas propiedades eléctricas y térmicas
- Buena resistencia al ataque de agentes químicos.
- Baja absorción de agua, idóneas para estructuras marinas.
- Elevada viscosidad.

Pero existe un único inconveniente, su elevado coste. Dos de las causas más significativas por las que su coste económico sea considerable es la curación de la resina y su elevada viscosidad.

Para que las resinas epoxi curen completamente es necesario la aportación de calor, a través de un proceso de curado o postcurado, ya que para conseguir buenas propiedades a temperatura ambiente resulta necesario la aplicación de agentes catalíticos específicos para ello. Y, finalmente, la elevada viscosidad dificulta su aplicación y procesado, pudiéndose

utilizar diluyentes. En definitiva, es difícil poder utilizar dichas resinas sin que su coste no signifique un inconveniente.

Por este motivo, se optará por otro tipo de resina para esta embarcación, la *resina poliéster*.

Las *resinas poliéster* son las más utilizadas mundialmente y, especialmente, en la construcción de embarcaciones en serie. De todas las resinas citadas anteriormente, éstas son las más económicas.

En cuanto a sus propiedades, resulta difícil definir las ya que existe una gran variedad de este tipo de resinas, fabricadas para distintos objetivos, de modo que se citaran, de forma general, alguna de ellas.

- Baja temperatura de transición vítrea.
- Resistencia media.
- Rigidez media.

Y un inconveniente relativamente importante a destacar es que tienden a contraerse entre el 6 y el 10%.

Se trata de resinas muy utilizadas en procesos de laminado de moldeo por contacto, con molde abierto, ya sea manual o de proyección simultánea, y en procesos de molde cerrado, como infusión, RTM, prensado, etc.

En el sector naval se utiliza para la construcción de cascos, cubiertas, superestructuras, estructuras internas, mobiliario interior, pequeños componentes, etc.

## 5.2. RECUBRIMIENTOS

Existen dos tipos de recubrimientos, el **gelcoat** o el **topcoat**. Los recubrimientos tienen la función de ocultar y proteger las fibras de refuerzo de la humedad y del medio exterior. Por ello, se trata de la primera capa de resina que se aplica sobre el molde, constituyendo la superficie que estará en contacto con el exterior.

La diferencia entre estos dos recubrimientos y la que ha comportado la elección de una u otra es que, el topcoat, contiene en su composición una pequeña cantidad de parafina. Esta cantidad de parafina, durante el proceso de curado, emigra hacia el exterior, impidiendo de esta manera el contacto de la resina con el exterior. El inconveniente existente es que cuando se desea realizar un laminado sobre el recubrimiento, es necesario eliminar la capa de parafina para garantizar una buena adhesión del laminado.

De modo que, para evitar mayor trabajo, ya que en cuanto a propiedades, ambos son muy parecidos, se escogerá para la embarcación el gelcoat.

### 5.3. MATERIALES DE REFUERZO

Las fibras de refuerzo son las encargadas de aportar resistencia y rigidez. Las más utilizadas en el ámbito naval se citan a continuación, aunque en este caso solo se describirá una de ellas que será la elegida para la construcción de la embarcación.

#### FIBRAS INORGÁNICAS

- Fibra de vidrio
- Fibra de carbono

#### FIBRAS SINTÉTICAS

- Fibras aramídicas.

De todas las fibras citadas las de mayor utilización en la construcción de embarcaciones son las **fibras de vidrio**. De modo que, a más a más, por su bajo coste, propiedades y los buenos resultados obtenidos de embarcaciones similares, el material de refuerzo para construir la embarcación será la fibra de vidrio.

Las principales propiedades a destacar de este material son las siguientes:

- Excelente resistencia mecánica específica (resistencia a la tracción/densidad)
- Resistencia a la humedad (debe sin embargo evitarse la humedad antes de la laminación porque perjudica la unión con la resina)
- Resistencia al ataque de agentes químicos
- Buenas propiedades como aislante eléctrico
- Débil conductividad térmica
- Buena estabilidad dimensional
- Bajo alargamiento
- Propiedades isotrópicas (al contrario que las fibras de carbono y kevlar)
- Excelente adherencia a la matriz (utilizando recubrimientos apropiados para cada tipo de resina)
- Incombustibilidad
- Imputrescibilidad

Tipo	Vidrio E	Vidrio R/S	Vidrio C
Resistencia a la tracción (GPa)	3,4 – 3,5	3,4 – 4,6	3,1
Módulo elástico (GPa)	72 -73	85 - 87	71
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2600	2500 - 2530	2450
Alargamiento a la rotura (%)	3,3 – 4,8	4,2 – 5,4	3,5
Resistencia específica (GPa * cm <sup>3</sup> /g)	1,3 – 1,35	1,7 – 1,85	1,3
Módulo E específico (GPa * cm <sup>3</sup> /g)	27,7 – 28,2	34 – 34,9	29
Chef. Transmisión térmica (10 <sup>-6</sup> /°K)	5	4 – 5,1	7,2
Diámetro del filamento (µm)	8 -20	10	20

Fig.19 Principales propiedades de la fibra de vidrio. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

También, dentro de las fibras de vidrio, existen varios tipos:

- A (alcalino)

- B (boro)
- C (chemical)
- D (dieléctrico)
- E (eléctrico)
- R o S (resistance-francés- y strength-inglés-)

El tipo de fibra que se utilizará para la embarcación es la **fibra de vidrio tipo E**, ya que su coste es el más reducido y se emplea en la construcción de embarcaciones. En cuanto a propiedades, ofrece una buena resistencia a la humedad, perfecta para el ambiente marino.

#### 5.4. ESTRUCTURAS TEXTILES

Una vez decidida la matriz, el recubrimiento y el tipo de refuerzo, se escogerá un tipo de estructura textil ya que las propiedades finales que se obtengan del material compuesto no solamente dependen del tipo de material sino también de su posicionamiento.

Igualmente que en todo lo demás existen diferentes tipos de estructuras textiles aptas todas para la construcción de embarcaciones. De modo que, en este caso, para la embarcación se utilizaran los **fieltros** (denominados comercialmente *mats*), estructuras textiles de fibras de refuerzo que no poseen una orientación preferente. Para mantenerlas unidas antes de impregnarlas, se les aplica algún tipo de ligante, el cual se determina según el tipo de matriz que se utilizará posteriormente.

Los fieltros pueden ser de fibras continuas o fibras cortadas, entre 40 y 50 mm.

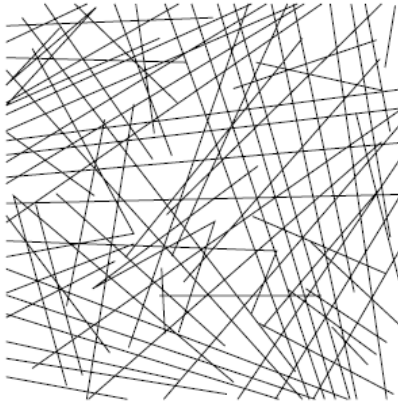


Fig.20 Filtro de fibras cortadas. BESEDNJAK A.  
*Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones.* Ed. UPC; Barcelona 2005.

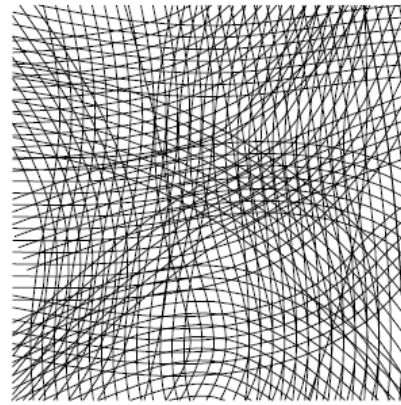


Fig.21 Filtro de fibras continuas. BESEDNJAK A.  
*Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones.* Ed. UPC; Barcelona 2005.

Para la confección de fieltros de fibra de vidrio se utilizan hilos de solionne.

Se consideran estructuras textiles con resistencias y rigideces no demasiado elevadas. Para laminados en diferentes fases, se utilizan para mejorar la adherencia interlaminar entre capas de laminado sucesivas.

El motivo de esta elección simplemente es que en gran parte de las embarcaciones similares estudiadas se utiliza una estructura textil de este tipo, de la cual se han obtenido buenos resultados.

## 5.5. ESTRUCTURA SANDWICH

Una estructura sándwich es una estructura formada por dos pieles de material resistente entre las cuales se ubica un material ligero de baja densidad, el cual recibirá el nombre de núcleo. El núcleo comportará el aumento del espesor y mínimamente el peso de esta estructura comparada con una estructura simple pero, en cuanto a la rigidez, aportará grandes beneficios.




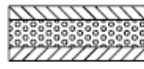
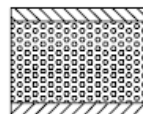
	<i>Construcción monolítica</i>	<i>Construcción sandwich</i>	<i>Construcción sandwich</i>
			
Rigidez relativa	100	700	3700
Resistencia relativa	100	350	925
Peso relativo	100	103	106

Fig.22 Comparación Estructura monolítica – Estructura sándwich. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

En definitiva, en una estructura sándwich se diferencian las siguientes partes:

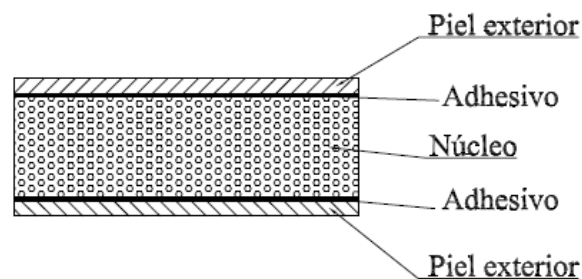


Fig.23 Elementos de las estructura sándwich. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

Las pieles exteriores son los elementos resistentes. El núcleo tiene la función de mantener separadas las pieles exteriores, aislar térmicamente y transmitir los esfuerzos cortantes de una cara a la opuesta. La inter-fase o, lo que es lo mismo, el adhesivo, tiene la función de mantener unido el conjunto. En esta embarcación las pieles exteriores serán del mismo tamaño.

En cuanto al núcleo existe gran variedad de materiales en el mercado para esta estructura pero, en este caso, se utilizarán espumas de cloruro de polivinilo o más conocido como PVC. El motivo es simplemente que son una de las más utilizadas y con buenos resultados. Cabe destacar que poseen las mejores propiedades comparadas con todas las espumas sintéticas.

- Buena resistencia mecánica.
- Buena resistencia térmica

- Buenas características como aislante acústico.
- Alta resistencia a la penetración de agua.
- Adaptabilidad a superficies con doble curvatura.

<i>Estructura / densidad (Kg./m<sup>3</sup>)</i>	<i>Lineal 80</i>	<i>Entrelazado 75</i>	<i>Entrelazado 80</i>	<i>Entrelazado 96</i>
<i>Resistencia al corte (MPa)</i>	<i>1,17</i>	<i>--</i>	<i>1,00</i>	<i>1,5</i>
<i>Módulo de corte (MPa)</i>	<i>20</i>	<i>11</i>	<i>30</i>	<i>45</i>
<i>Resistencia a la tracción (MPa)</i>	<i>1,38</i>	<i>1,21</i>	<i>1,79</i>	<i>2,48</i>
<i>Resistencia a la compresión (MPa)</i>	<i>0,86</i>	<i>1,1</i>	<i>1,17</i>	<i>1,79</i>

Fig.24 Principales propiedades de las espumas de PVC. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

## 5.6. PROCESOS DE FABRICACIÓN

Los procesos de fabricación de embarcaciones completas o de componentes de éstas más utilizados en el ámbito de la construcción naval son los siguientes:

<i>Moldeo por contacto</i>	<i>Moldeo asistido por vacío</i>	<i>Moldeo por vía líquida</i>	<i>Moldeo con autoclave</i>
<i>a) Laminación por contacto</i>	<i>a) Laminación por contacto asistido por vacío</i>	<i>a) RTM</i>	
<i>b) Proyección simultánea</i>	<i>b) Preimpregnados</i>	<i>b) VARTM</i>	
<i>c) Impregnadores</i>	<i>c) Preimpregnados parciales</i>	<i>c) Infusión</i>	

Fig.25 Procesos de fabricación. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

Una vez realizado un estudio de cada una de estos procesos se escogió como proceso de construcción para la embarcación la *técnica de moldeo por contacto* y, en concreto, la *técnica de laminado manual*.

En las técnicas de moldeo por contacto la destreza del operario tiene un papel muy importante ya que las características físicas y mecánicas del laminado dependerán de ello. Éstas son las técnicas más sencillas, más económicas y las más artesanales.

El proceso de laminado manual se basa en la aplicación de sucesivas capas de material de refuerzo sobre un molde, para impregnarlas gradualmente con resina mediante la acción de un rodillo o brocha.

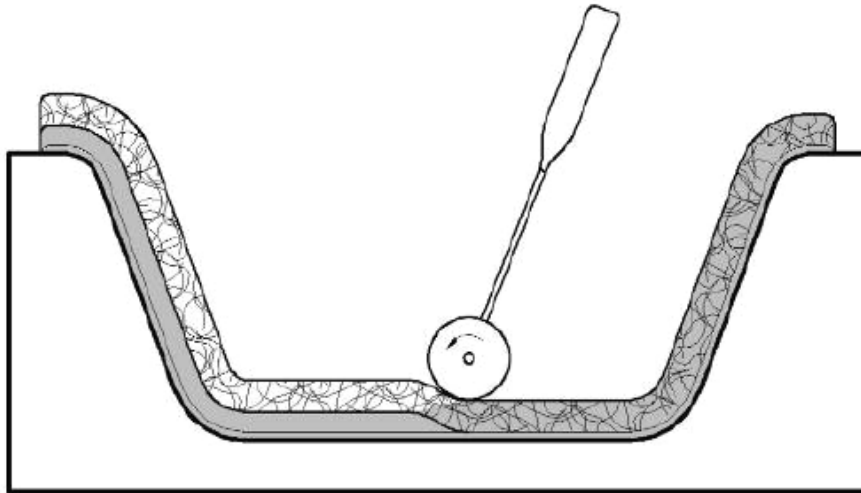


Fig.26 Laminado manual. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

La secuencia de laminado recomendada es la siguiente:

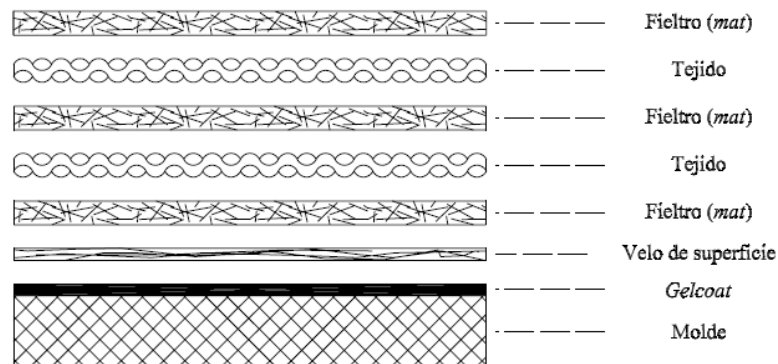


Fig.27 Secuencia de laminado. BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.

A continuación se dictan las ventajas y desventajas que comporta utilizar este tipo de proceso:

Las ventajas son las siguientes:

- Los equipos necesarios son de extrema sencillez y su coste es relativamente bajo.
- El coste de la materia prima es reducido.

- Dada su simplicidad no requiere mano de obra excesivamente cualificada.
- No existen límites respecto del tamaño de pieza a producir.
- El coste de los moldes es el más bajo entre todos los procesos de producción.
- Es un método ideal para producciones cortas y para piezas de gran tamaño.
- Se pueden emplear todo tipo de refuerzos y resinas.
- Se pueden construir tanto estructuras *sándwich* como monolíticas.
- En general no requiere de procesos térmicos posteriores.

A continuación, las desventajas:

- Los laminados son de calidades irregulares (uniformidad, homogeneidad y tasa de porosidad).
- El contenido de refuerzo es bajo, entre 25 y 35%.
- Existe una fuerte dependencia de la habilidad y motivación del operario.
- Requiere, en general, de numerosa mano de obra.
- La productividad es baja debido a lo artesanal del proceso.
- Los factores ambientales como temperatura y humedad pueden condicionar el proceso.
- Provoca elevadas emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Se producen gran cantidad de desperdicios.
- El acabado superficial sólo es bueno en la superficie que está en contacto con el molde.

## 5.7. APLICACIÓN

Una vez decidido qué tipo de materiales se utilizaran y que proceso de fabricación se empleará, se define, a continuación, que tipo de estructura se aplicará a cada parte del casco.

Para el casco, se utilizará una estructura monolítica, siguiendo la secuencia indicada en el apartado anterior.

En cambio, para los refuerzos, es decir, para los mamparos, la quilla y el pantoque se utilizará una estructura sándwich.

En el siguiente capítulo, se realiza el cálculo de la estructura siguiendo estos requisitos.

## 6. - DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL

En el presente capítulo se realiza el cálculo de la estructura de la embarcación que consiste en el cálculo de los espesores y el dimensionamiento de los refuerzos. Para ello, ha sido necesario el uso de la normativa ISO 12215-5 Pequeñas embarcaciones. Construcción del casco y determinación del escantillonado.

### 6.1. LÍMITES DE APLICACIÓN

Para comprobar si esta normativa puede ser aplicada a este tipo de embarcación deben estudiarse los límites de aplicación establecidos en ella:

- La eslora de la embarcación debe estar comprendida entre 2,5 y 24 metros.
- La velocidad de la embarcación no puede ser superior a 50 nudos.
- La siguiente relación entre la eslora en la flotación y el volumen debe estar comprendida entre los mínimos y máximos que se dictan a continuación:

	Mínimo	Máximo
Eslora / Desplazamiento $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$	$3,6 + 0,06 \cdot L_{WL}$	$6,2 + 0,04 \cdot L_{WL}$
<b>Resultados</b>		
Siendo $L_{WL} = 5,04 \text{ m}$ y $\nabla^{1/3} = 0,738 \text{ m}^3$		
5,5771	3,9024	6,4016

Fig.28 Límites de aplicación. ISO 12215-5, apartado 6.1.1.

- Debe cumplirse la siguiente relación ya que se trata de una embarcación de planeo:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} > 3,6$$

Fig.29 Formula. Límites de aplicación.  
ISO 12215-5, apartado 6.1.1.

El resultado obtenido para una velocidad de 40 nudos y una eslora en la flotación de 5,04 es de 17,81.

En definitiva, la embarcación se encuentra dentro de los límites de aplicación de esta normativa.

## **6.2. PANELES**

A continuación, el siguiente paso a realizar, consiste en calcular la presión que se ejerce sobre el casco ya que de esta manera se dimensionará a éste de tal manera que resista dicha presión. Para ello es necesario dividir el casco en paneles y estos paneles agruparlos en tres grandes grupos: paneles de fondo, paneles de costado y paneles de cubierta.

Una vez realizada dicha división y calculada la presión de cada panel, se procederá al cálculo del escantillonado, obteniendo el espesor del casco. Y, finalmente, se indicará la secuencia del laminado para cada grupo de paneles, tal y como, se observa en los siguientes apartados.

### **6.2.1. PANELES DE FONDO**

En la siguiente figura se observa como se ha dividido el fondo del casco en paneles. A cada uno de ellos le corresponderá un nombre para poder identificarlos y saber a qué presión estarán sometidos.

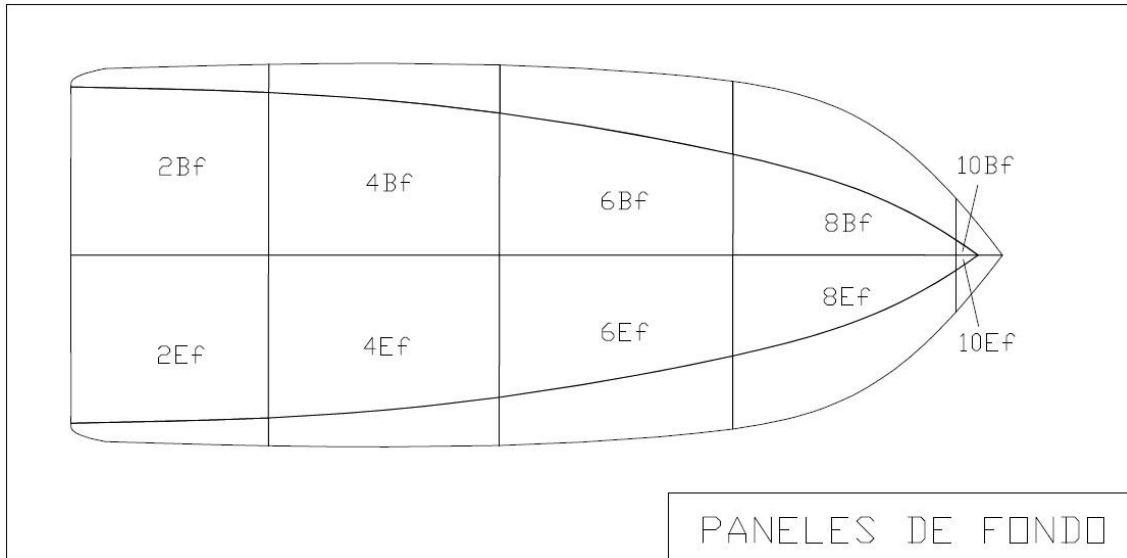


Fig.30 Paneles de fondo. FUENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

#### 6.2.1.1. CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DISEÑO DEL FONDO

En este apartado se procede al cálculo de la presión de cada uno de los paneles indicados anteriormente, siguiendo las indicaciones correspondientes a la normativa.

La presión de diseño del fondo se calcula mediante la siguiente fórmula,

$$P_{bm} = P_{bm \text{ base}} \cdot k_{ar} \cdot k_L$$

Fig.31 Formula. Presión de fondo. ISO 12215-5, apartado 6.1.2.

En el Anexo I se encuentran todos los cálculos realizados en este capítulo y se indica que es cada uno de los factores utilizados para la realización de los cálculos.

Las presiones obtenidas para cada panel son las siguientes:

Panel	$P_{bm} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
2 Bf	40,212



4 Bf	39,253
6 Bf	30,515
8 Bf	42,847
10 Bf	73,932

Al ser la embarcación simétrica, solamente se indica el valor de las presiones de los paneles de babor ya que los paneles de estribor poseerán la misma presión que éstos. Así se procederá en los siguientes apartados.

#### 6.2.1.2. CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO DE LOS PANELES DE FONDO

A continuación, se procede al cálculo del espesor para cada uno de los paneles.

$$t_1 = b \cdot f_k \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}}$$

Fig.32 Formula. Espesor. ISO 12215-5, apartado 8.

$$t_2 = b \cdot f_k \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot k_3}{1000 \cdot k_1 \cdot E_f}}$$

Fig.33 Formula. Espesor. ISO 12215-5, apartado 8.

El mayor espesor obtenido de ambos será el que se aplicará.

A continuación, se muestran los espesores para cada panel:

Panel	t (mm)
2 Bf	12,989

4 Bf	13,162
6 Bf	10,165
8 Bf	4,145
10 Bf	4,379

### 6.2.1.3. SECUENCIA DEL LAMINADO

Tal y como se observa en los resultados anteriores, el mayor espesor es el correspondiente al panel 4Bf, de modo que, para que la embarcación sea lo más uniforme posible, se utilizará dicho espesor para todo el fondo del casco. El laminado a seguir será el indicado en el capítulo 5 punto 6, el cual, se muestra a continuación para los paneles de fondo:

<i>Secuencia del laminado</i>		
<i>Secuencia</i>	<i>w (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>t (mm)</i>
Mat	0,3	0,700
Rov	0,45	0,582
Mat	0,45	1,050
Rov	0,5	0,646
Mat	0,45	1,050
Rov	0,6	0,776
Mat	0,45	1,050
Rov	0,8	1,034
Mat	0,45	1,050
Rov	0,6	0,776
Mat	0,45	1,050
Rov	0,5	0,646
Mat	0,45	1,050
Rov	0,45	0,582
Mat	0,3	0,700
Rov	0,45	0,582
TOTAL	7,65	13,332

### 6.2.2. PANELES DE COSTADO

En la siguiente figura se observan los paneles de costado.

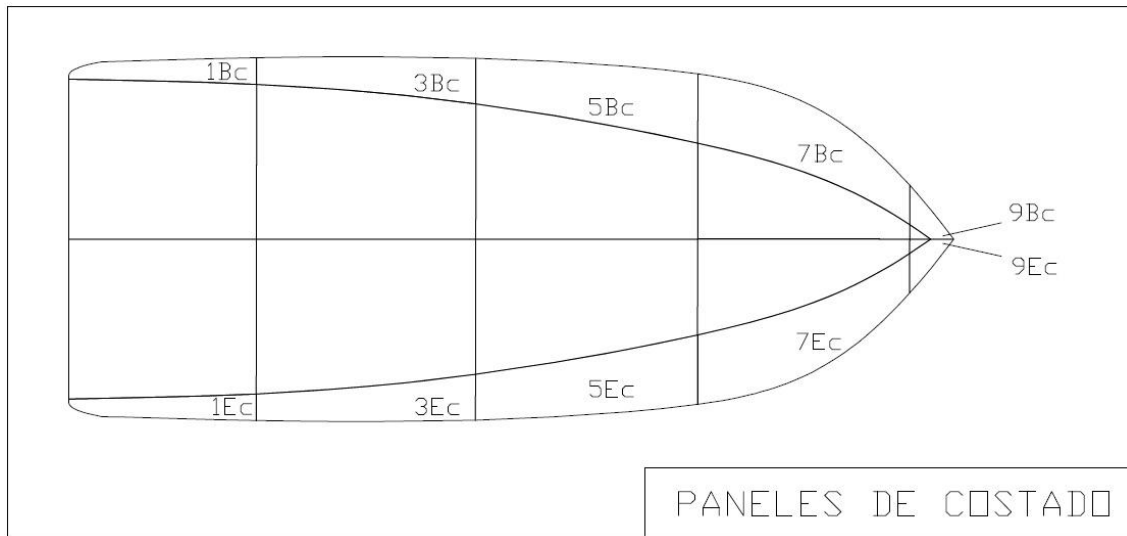


Fig.34 Paneles de costado. FUENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

#### 6.2.2.1. CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DISEÑO DEL COSTADO

En este apartado se procede al cálculo de la presión de cada uno de los paneles indicados anteriormente, siguiendo las indicaciones correspondientes a la normativa.

La presión de diseño del costado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_{sm} = f_w \cdot 10 \cdot h_{sc} \cdot k_v (0,2 \cdot P_{bm \text{ base}} \cdot k_{ar} \cdot k_L)$$

Fig.35 Formula. Presión de costado. ISO 12215-5, apartado 6.1.3.

Las presiones obtenidas para cada panel son las siguientes:

Panel	$P_{sm} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
1 Bc	10,339

3 Bc	9,496
5 Bc	7,443
7 Bc	8,417
9 Bc	13,014

#### 6.2.2.2. CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO DE LOS PANELES DE COSTADO

Para el cálculo del escantillonado de los paneles de costado se procede de la misma manera que en los paneles de fondo.

Los espesores obtenidos para los paneles de costado son los siguientes:

Panel	t (mm)
1 Bc	5,540
3 Bc	6,241
5 Bc	5,559
7 Bc	4,019
9 Bc	2,847

#### 6.2.2.3. SECUENCIA DEL LAMINADO

En este caso, en los resultados anteriores, el mayor espesor es el correspondiente al panel 3Bc, de modo que, para que la embarcación sea lo más uniforme posible, se utilizará dicho espesor para todo el costado. El laminado a seguir para el costado de la embarcación será el siguiente:

<i>Secuencia del laminado</i>		
<i>Secuencia</i>	<i>w (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>t (mm)</i>
Mat	0,3	0,700
Rov	0,45	0,582
Mat	0,45	1,050
Rov	0,5	0,646

Mat	0,45	1,050
Rov	0,45	0,582
Mat	0,45	1,050
Rov	0,45	0,582
<b>TOTAL</b>	<b>3,5</b>	<b>6,245</b>

### 6.2.3. PANELES DE CUBIERTA

En la siguiente figura se observan los paneles de cubierta.

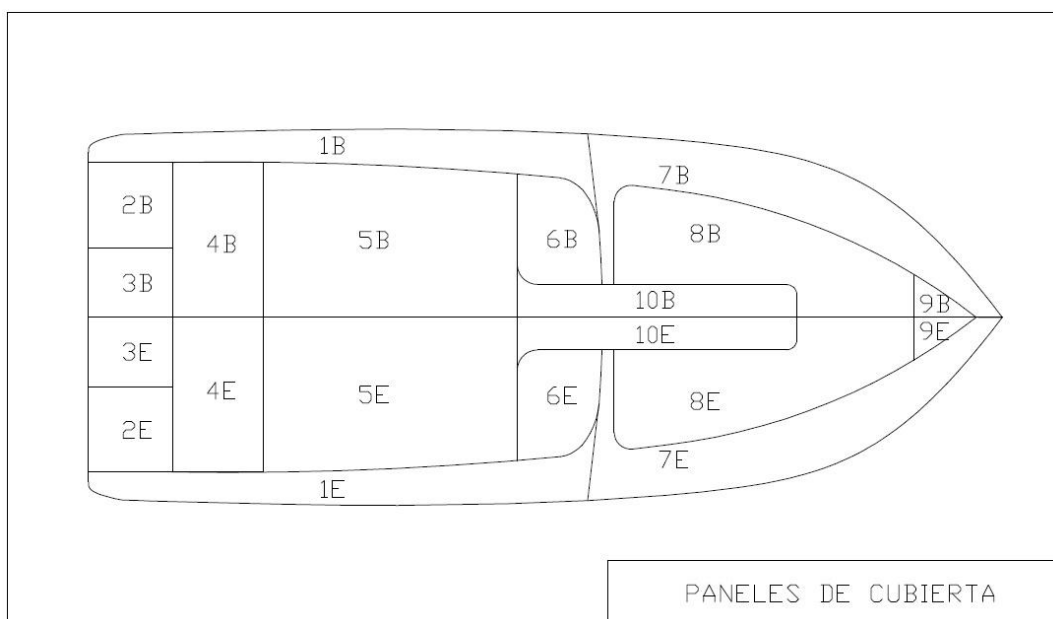


Fig.36 Paneles de cubierta. FUENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

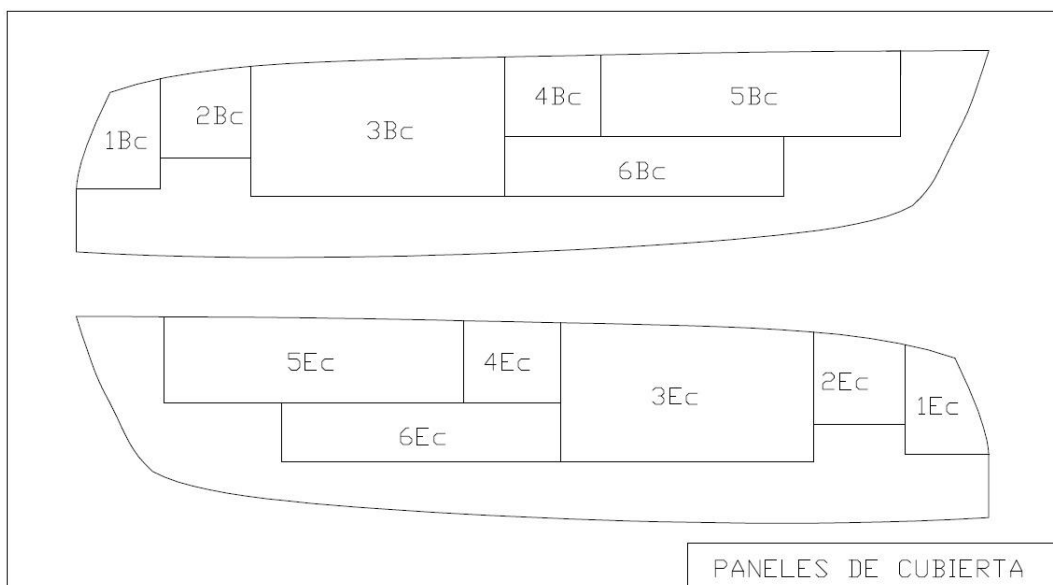


Fig.37 Paneles de cubierta. FUENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

### 6.2.3.1. CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DISEÑO DE LA CUBIERTA

Igual que en los paneles de fondo y costado, se procede al cálculo de la presión de cada uno de los paneles indicados anteriormente, siguiendo las indicaciones correspondientes a la normativa.

La presión de diseño del costado se calcula mediante la siguiente fórmula,

$$P_{dm} = f_w \cdot k_{ds} \cdot (0,3 \cdot L_H + 14,6)$$

Fig.38 Formula. Presión de cubierta. ISO 12215-5, apartado 6.1.4.

Las presiones obtenidas para cada panel son las siguientes:

Panel	$P_{dm} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
1 B	12,582
2 B	10,954
3 B	11,371
4 B	10,746
5 B	9,233
6 B	10,930
7 B	12,635
8 B	12,149
9 B	12,149
10 B	12,450
1 Bc	10,959
2 Bc	11,083
3 Bc	9,621
4 Bc	11,068
5 Bc	11,010
6 Bc	11,673

### 6.2.3.2. CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO DE LOS PANELES DE CUBIERTA

Para el cálculo del escantillonado de los paneles de cubierta se procede de la misma manera que en los paneles de fondo y costado.

Los espesores obtenidos para los paneles de costado son los siguientes:

Panel	t (mm)
1 B	1,584
2 B	3,184
3 B	3,047
4 B	4,549
5 B	6,867
6 B	3,839
7 B	1,483
8 B	2,406
9 B	2,108
10 B	1,839
1 Bc	3,803
2 Bc	3,357
3 Bc	6,437
4 Bc	3,483
5 Bc	4,446
6 Bc	3,281

### 6.2.3.3. SECUENCIA DEL LAMINADO

En este caso, en los resultados anteriores, el mayor espesor es el correspondiente al panel 5B, de modo que, para que la embarcación sea lo más uniforme posible, se utilizará dicho espesor para todo el cubierta de la embarcación. El laminado a seguir será el siguiente:

<i><b>Secuencia del laminado</b></i>		
<i><b>Secuencia</b></i>	<i><b>w (kg/m<sup>2</sup>)</b></i>	<i><b>t (mm)</b></i>
Mat	0,3	0,7005
Rov	0,45	0,5820
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,5	0,6467
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,8	1,0347
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,6	0,7760
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>6,8923</b>

### 6.3. REFUERZOS

En el siguiente apartado se realizará el dimensionamiento de los refuerzos longitudinales y transversales.

En total, la embarcación estará compuesta por cuatro mamparos, la quilla y el pantoque, cogiendo como referencia otras embarcaciones similares.

#### 6.3.1. MAMPAROS

A continuación, se procederá al cálculo de la presión de los mamparos, de su espesor y se indicará la secuencia del laminado. En este caso, tal y como se dicta en el capítulo anterior, los mamparos estarán formados por una estructura sándwich.

##### 6.3.1.1. MAMPAROS ESTANCOS

En la embarcación habrá dos mamparos estancos, el de más a proa y el de más a popa. Para empezar se calculará la presión a la que deben estar dimensionados.



$$P_{wb} = 7,2 \cdot h_b$$

Fig.39 Formula. Presión mamparos.  
ISO 12215-5, apartado 6.3.1.

Las presiones obtenidas son las siguientes:

Maparo	$P_{wb} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
Proa	3,182
Popa	5,524

#### 6.3.1.1.1. CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO DE LOS MAMPAROS ESTANCOS

En el siguiente apartado se calcularán los siguientes parámetros:

$$SM = \frac{b^2 \cdot f_k^2 \cdot P \cdot k_2}{6 \cdot 10^5 \cdot \sigma_d}$$

Fig.40 Formula. Módulo de inercia. ISO 12215-5, apartado 8.4.1.

$$I = \frac{b^3 \cdot f_k^3 \cdot P \cdot k_3}{12 \cdot 10^6 \cdot E}$$

Fig.41 Formula. Momento de inercia. ISO 12215-5, apartado 8.4.1.

$$w_s = f_w \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot (0,1 \cdot L_{WL} + 0,15)$$

Fig.42 Formula. Masa de fibra. ISO 12215-5, apartado 8.4.4.

$$d = \frac{v \cdot P \cdot b}{\tau_d \cdot 10^3}$$

Fig.43 Formula. Espesor. ISO 12215-5, apartado 8.4.2.

De los cuales los resultados obtenidos son:

<i>Mamparos</i>	<i>Proa</i>	<i>Popa</i>
<b>SM</b>	0,0018	0,0444
<b>I</b>	0,0006	0,0313
<b>w<sub>s</sub></b>	0,4905	0,4905
<b>d</b>	1,5490	9,5762

#### 6.3.1.1.2. SECUENCIA DEL LAMINADO

A continuación, se muestra la secuencia de laminado para cada uno de los mamparos estancos.

<i>Secuencia del laminado</i>		
<i>Mamparo de proa</i>		
<i>Secuencia</i>	<i>w (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>t (mm)</i>
Mat	0,3	0,7005
Rov	0,45	0,5820
<i>t<sub>n</sub></i>		
Rov	0,45	0,5820
Mat	0,3	0,7005
<b>TOTAL</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5651</b>

Siendo el espesor del núcleo, *t<sub>n</sub>*, del mamparo de proa 4 mm y para el mamparo de popa 7 mm, ya que el espesor total de los mamparos, *d*, debe ser igual o superior al del apartado anterior.

### 6.3.1.2. MAMPAROS NO ESTANCOS

Los mamparos no estancos serán otros dos situados más al centro de la embarcación. El cálculo de la presión será de igual manera que los mamparos estancos.

Los resultados son los siguientes:

Maparo	$P_{wb} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
Central Proa	5,380
Central Popa	5,630

#### 6.3.1.2.1. CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO DE LOS MAMPAROS NO ESTANCOS

En este caso, como ya se ha dicho anteriormente, se procede de la misma manera que los apartados anteriores.

Los resultados obtenidos son:

<i>Mamparos</i>	<i>Central de Proa</i>	<i>Central de Popa</i>
<b>SM</b>	0,0351	0,0569
<b>I</b>	0,0266	0,0506
<b>w<sub>s</sub></b>	0,4905	0,4905
<b>d</b>	8,1316	10,6859

### 6.3.1.2.2. SECUENCIA DEL LAMINADO

En este caso, para los dos mamparos, el laminado será igual.

<i>Secuencia del laminado</i>		
<i>Secuencia</i>	<i>w (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>t (mm)</i>
Mat	0,3	0,7005
Rov	0,45	0,5820
$t_n$		
Rov	0,45	0,5820
Mat	0,3	0,7005
<b>TOTAL</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5651</b>

Siendo el espesor del núcleo,  $t_n$ , del mamparo central de proa 6 mm y para el mamparo central de popa 8 mm, ya que el espesor total de los mamparos,  $d$ , debe ser igual o superior al del apartado anterior.

### 6.3.2. PANTOQUE

Para esta embarcación la forma adecuada para el siguiente refuerzo es la que se muestra a continuación.

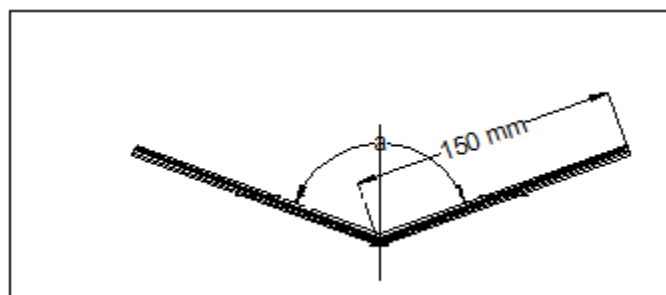


Fig.44 Sección del pantoque. ISO 12215-5, anexo G, apartado 3.

Para la obtención de las dimensiones del refuerzo es necesario calcular los siguientes parámetros:

$$SM = \frac{R_C \cdot K_B \cdot P \cdot s \cdot l_u^2}{\sigma_d}$$

Fig.45 Formula. Módulo de inercia. ISO 12215-5, apartado 9.1.1.

$$I = \frac{N_B \cdot R_c^{1,5} \cdot P \cdot s \cdot l_u^3}{E_{TC}}$$

Fig.46 Formula. Momento de inercia. ISO 12215-5, apartado 9.1.2.

De los cuales, los resultados son:

<b>Resultados</b>	
<b>SM (cm<sup>3</sup>)</b>	85,162
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	141,869

A partir de estos resultados se obtiene que las dimensiones del pantoque sean las siguientes:

<b>SM cm<sup>3</sup></b>	<b>I cm<sup>4</sup></b>	<b>Ángulo º</b>	<b>t mm</b>
85,9	300	120	9

Fig.47 Dimensiones del pantoque. ISO 12215-5, anexo G, apartado 3.

### 6.3.2.1. SECUENCIA DEL LAMINADO

Una vez obtenido el espesor se procede a realizar la secuencia del laminado:

<i>Secuencia del laminado</i>		
<i>Secuencia</i>	<i>w (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>t (mm)</i>
Mat	0,3	0,7005
Rov	0,45	0,5820
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,5	0,6467
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,6	0,7760
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,5	0,6467
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,45	0,5820
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,3	0,3880
<b>TOTAL</b>	<b>5,35</b>	<b>9,5759</b>

### 6.3.3. QUILLA

En el siguiente apartado, se escogerá la forma que tendrá el presente refuerzo junto con sus dimensiones. Para ello, es necesario el cálculo de los siguientes parámetros:

$$SM = \frac{R_C \cdot K_B \cdot P \cdot s \cdot l_u^2}{\sigma_d}$$

Fig.48 Formula. Módulo de inercia. ISO 12215-5, apartado 9.1.1.

$$A_W = \frac{k_{sa} \cdot P \cdot s \cdot l_u}{\tau_d}$$

Fig.49 Formula. Zona de corte. ISO 12215-5, apartado 9.1.1.

$$I = \frac{N_B \cdot R_c^{1,5} \cdot P \cdot s \cdot l_u^3}{E_{TC}}$$

Fig.50 Formula. Momento de inercia. ISO 12215-5, apartado 9.1.2.

De los cuales se han obtenido los siguientes resultados:

<b>Resultados</b>	
<b>SM (cm<sup>3</sup>)</b>	120,116
<b>A<sub>w</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	21,047
<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	241,764

A continuación, según los resultados, se ha escogido la forma que ha de poseer el refuerzo, siendo ésta la mostrada en la siguiente figura:

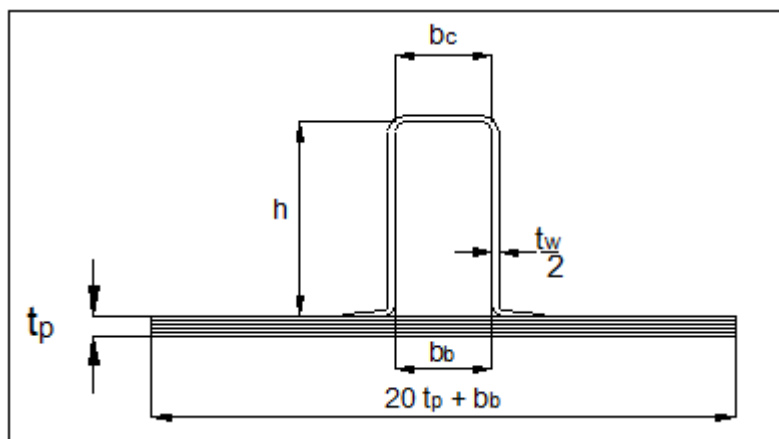


Fig.51 Sección de la quilla. ISO 12215-5, anexo G, apartado 2.4.

Las dimensiones del refuerzo serán las siguientes:

<b><i>h</i></b> <b><i>mm</i></b>	<b><i>b<sub>b</sub></i></b> <b><i>mm</i></b>	<b><i>b<sub>c</sub></i></b> <b><i>mm</i></b>	<b><i>t<sub>p</sub></i></b> <b><i>mm</i></b>	<b><i>20 t<sub>p</sub> + b<sub>b</sub></i></b> <b><i>mm</i></b>	<b><i>t<sub>w</sub>/2</i></b> <b><i>mm</i></b>	<b><i>w</i></b> <b><i>kg/m<sup>2</sup></i></b>	<b><i>SM</i></b> <b><i>cm<sup>3</sup></i></b>	<b><i>A<sub>w</sub></i></b> <b><i>cm<sup>2</sup></i></b>	<b><i>I</i></b> <b><i>cm<sup>4</sup></i></b>
175	75	65	5	175	7	3	160,5	24,5	1675

Fig.25 Dimensiones de la quilla. ISO 12215-5, anexo G, apartado 2.4.

### 6.3.3.1. SECUENCIA DEL LAMINADO

Una vez obtenido el espesor se procede a realizar la secuencia del laminado:

<i>Secuencia del laminado</i>		
<i>Secuencia</i>	<i>w (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>t (mm)</i>
Mat	0,3	0,7005
Rov	0,45	0,5820
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,6	0,7760
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,8	1,0347
Mat	0,45	1,0507
Rov	0,6	0,7760
<b>TOTAL</b>	<b>4,1</b>	<b>7,0217</b>



## 7. DISEÑO DE EXTERIORES

En el presente capítulo se describe tal y como será la embarcación. Se busca que ésta sea atractiva en cuanto a diseño y cómoda para su uso, pero siguiendo con los requisitos establecidos en el capítulo 1.

A continuación, se muestran dos vistas de la embarcación, concretamente, la planta y el perfil, donde se observa la cubierta de la embarcación:

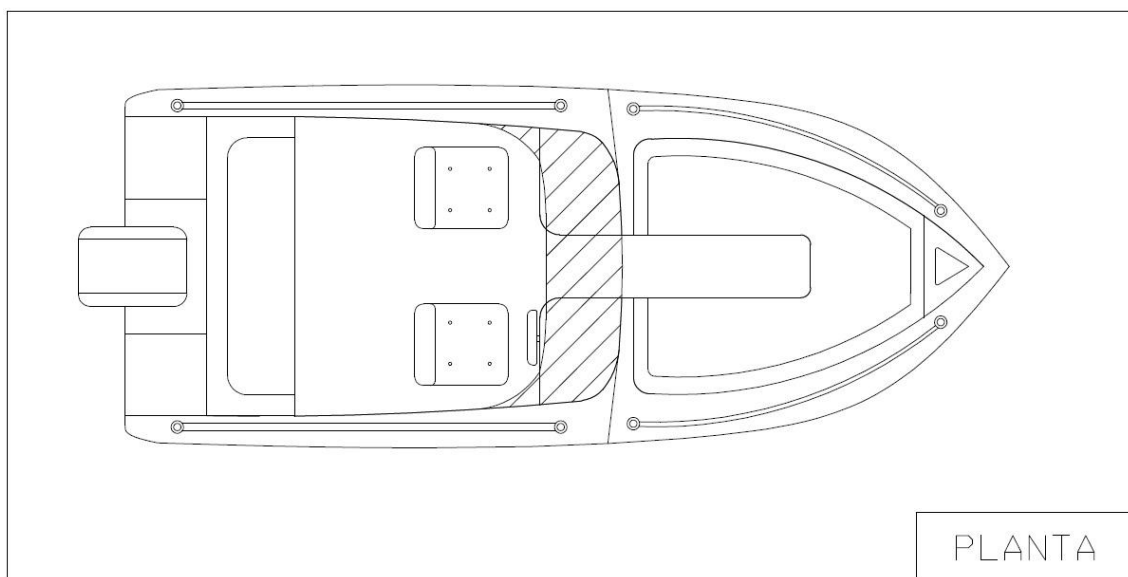


Fig.52 Vista en planta de la embarcación. FUEENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

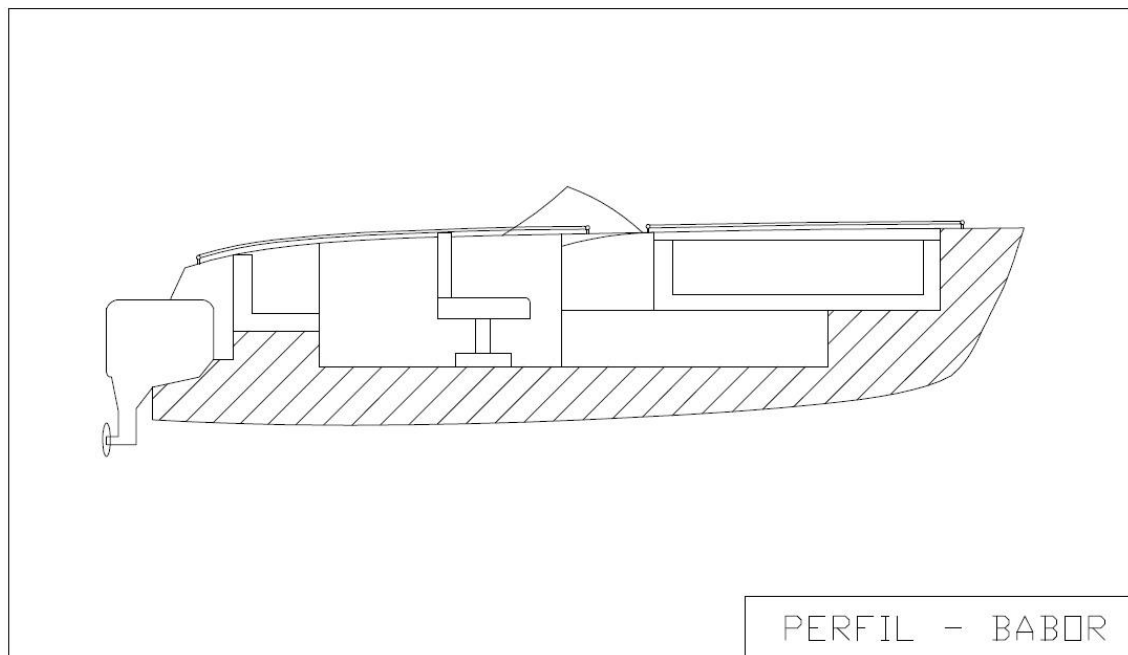


Fig.53 Vista del perfil (babor) de la embarcación. FUEENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

Para describir la embarcación, ésta se dividirá en tres zonas: zona de popa, zona central y zona de proa:

**ZONA DE POPA:** En la zona de popa se encuentra el motor fueraborda, los asientos de popa, que permiten que tres personas estén sentadas, y debajo de éstos, están ubicados los compartimentos para poder guardar en ellos el botiquín y todo el material náutico necesario según la normativa tal y como se define en el capítulo 8.

**ZONA CENTRAL:** La zona central consiste en la zona de gobierno donde están ubicados el asiento del piloto y del copiloto. Justo enfrente del asiento del copiloto se ubica un compartimento dentro del cual se encuentra el balde y los chalecos salvavidas. En la zona delantera del puesto de mando existe un parabrisas el cual mediante una abertura permite el paso de la tripulación de la zona central a la zona de proa.

**ZONA DE PROA:** Finalmente, en la zona de proa se encuentra ubicados dos sofás que permitirán tomar el sol a dos pasajeros, debajo de los cuales existen compartimentos para guardar en ellos los extintores y las señales de socorro. El compartimento que se observa más externo a proa es donde estará guardada el ancla y la cadena del ancla de la embarcación.

En cualquier compartimento pueden guardarse los pertrechos de la tripulación.

## 8. - EQUIPOS

En el presente capítulo se describe la categoría de diseño y la zona de navegación para este tipo de embarcación, conjuntamente con todos los equipos necesarios a llevar a bordo.

### 8.1. CATEGORÍAS DE DISEÑO

Las Categorías de Diseño son asignadas por el constructor según la robustez de la estructura de la embarcación. Figura en la 'Placa' de la embarcación, en la 'Declaración de Conformidad' del constructor y en el 'Manual del Propietario'.

En el caso de esta embarcación, la *categoría de diseño* es la **C**, en aguas costeras.

<i><b>Categoría de diseño</b></i>	<i><b>Fuerza del Viento (escala Beaufort)</b></i>	<i><b>Altura de la ola (metros)</b></i>	<i><b>Zonas de navegación</b></i>
<b>A</b> Oceánicas.	>8	>4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
<b>B</b> Alta mar.	<8	<4	2, 3, 4, 5, 6, 7
<b>C</b> En aguas costeras.	<6	<2	4, 5, 6, 7
<b>D</b> En aguas protegidas.	<6	<0,5	7

Fig.54 Categoría de diseño. Real Decreto 297/98. (Directiva 94/25/CE).

### 8.2. ZONAS DE NAVEGACIÓN

Las Zonas de Navegación se estipulan por el nivel de equipos de seguridad con que se dota a la embarcación a petición del propietario y que figura en el Certificado de Navegabilidad.

En el caso de esta embarcación, la zona de navegación es la 5.

<b><i>Zonas de navegación</i></b>	<b><i>Descripción</i></b>
<b>1</b>	Navegación ilimitada.
<b>2</b>	Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 60 millas.
<b>3</b>	Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 25 millas.
<b>4</b>	Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 12 millas.
<b>5</b>	<i>Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 5 millas (medidas perpendicularmente a la costa) de un abrigo a playa accesible.</i>
<b>6</b>	Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 2 millas (medidas perpendicularmente a la costa) de un abrigo a playa accesible.
<b>7</b>	Navegación en aguas costeras protegidas, puertos, radas, rías, bahías abrigadas y aguas protegidas en general.

Fig.55 Zonas de navegación. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.3. EQUIPOS DE SEGURIDAD

En este apartado, se describen todos los equipos de seguridad que la embarcación debe llevar a bordo según la zona de navegación estipulada.

### 8.3.1. MATERIAL NÁUTICO

En la siguiente tabla se describe el material náutico a llevar a bordo:

<b>Material Náutico</b>		
<b>Descripción del material exigido</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Notas</b>
Bocina de niebla	1	Puede ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>Manual.</li> <li>De gas con recipiente a presión, con respeto de membrana y botella.</li> </ul>
Pabellón Nacional	1	
Espejo de señales	1	
Código de señales	1	Si monta aparatos de radio comunicaciones.
Caña de timón de emergencia	1	Excepto si el motos es fueraborda o de transmisión en Z.
Estachas de amarre al muelle	2	
Bichero	1	
Remo y dispositivo de boga	1	Sólo para embarcaciones menores de 8 metros de eslora.
Inflador y juego de reparación de pinchazos.	1	Sólo para embarcaciones neumáticas rígidas y semirrígidas.

Fig.56 Material Náutico. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.3.2. BOTIQUINES

La siguiente tabla indica la cantidad de botiquines a llevar a bordo:

<b>Botiquines</b>		
<b>Descripción del material exigido</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Notas</b>
Botiquín de primeros auxilios.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Con tripulación contratada: Botiquín tipo A, B, C según alejamiento de costa y tiempo de navegación (RD 258/99 y Orden PRE/930/02).</li> <li>- Sin tripulación contratada: (sólo exigible en Zona de Navegación 5) Botiquín tipo número 4, según orden de 4/12/1980.</li> </ul>

Fig.57 Botiquines. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.3.2.1. TIPOS DE BOTIQUINES DE URGENCIAS

El tipo de botiquín para esta embarcación, según la zona de navegación estipulada, es el número 4.

<b>Botiquines</b>	
<b>Zonas de navegación</b>	<b>Tipo</b>
<b>1</b>	C
<b>2</b>	
<b>3</b>	Balsa de salvamento
<b>4</b>	
<b>5</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	-
<b>7</b>	

Fig.58 Tipo de botiquín. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.3.2.2. CONTENIDO DEL BOTIQUÍN TIPO NÚMERO 4

La siguiente tabla describe el contenido del botiquín a llevar:

<b>Contenido del botiquín tipo número 4</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Aspirinas</b> , tabletas de 0,50, cajas de 20	1
<b>Mercurocromo</b> , frasco pequeño	1
<b>Venda 2,5x5</b>	2
<b>Venda 20x6</b>	2
<b>Esparadrapo 2,5x5</b>	1
<b>Venda antiséptica</b> (salvelox), 1m x 6cm	1
<b>Nolotil</b> , ampollas	-
<b>Algodón hidrófilo</b> de 100 gramos	1
<b>Gasas estériles</b> de 20x20	1

Fig.59 Contenido del botiquín. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.3.3. RADIOCOMUNICACIONES

En la siguiente tabla se describen los equipos radioeléctricos obligatorios para esta embarcación:

<b>Radiocomunicaciones</b>		
<b>Descripción del material exigido</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Notas</b>
Transmisor-Receptor de VHF o VHF portátil.	1	Homologado.

Fig.60 Radiocomunicaciones. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril. Para todos los buques regulados por el Real Decreto 1185/2006, del 16 de octubre.

### 8.3.4. SEÑALES DE SOCORRO

La siguiente tabla describe el tipo y la cantidad de señales de socorro a llevar a bordo:

<b>Señales de socorro</b>		
<b>Descripción del material exigido</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Notas</b>
Bengalas de mano	3	Homologadas.

Fig.61 Señales de socorro. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.3.5. SALVAMENTO

En la siguiente tabla se describen los equipos de salvamento a llevar:

<b>Salvamento</b>		
<b>Descripción del material exigido</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Notas</b>
Chalecos salvavidas.	100%	Flotabilidad 150N. (%) Número de personas autorizadas.

Fig.62 Salvamento. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

#### 8.4. LUCES DE NAVEGACIÓN

La siguiente tabla indica las luces de navegación en función de la eslora:

<b>Luces de navegación</b>			
<b>Eslora</b>	<b>Propulsión mecánica</b>	<b>Propulsión a velas</b>	<b>Propulsión a remos</b>
<b>&gt; 12 metros</b>	Br, Er, Alcance, Tope y Fondeo.	Br, Er, Alcance y Fondeo. Eslora > 20 metros opcional farol tricolor.	Mínimo una linterna.
<b>&lt; 12 metros</b>	<b>Br, Er y Fondeo.</b>	Br, Er, Alcance y Fondeo. Opcional farol tricolor.	Mínimo una linterna.
<b>&lt; 7 metros (Velocidad &lt; 7 nudos)</b>	Fondeo (Br y Er opcionales).	Mínimo una linterna.	Mínimo una linterna.

Fig.63 Luces de navegación. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

#### 8.5. LÍNEAS DE FONDEO

La siguiente tabla indica las líneas de fondeo en función de la eslora:

<b>Líneas de fondeo</b>				
<b>Eslora (m)</b>	<b>Peso del ancla con alto poder de agarre (kg)</b>	<b>Peso del ancla sin alto poder de agarre (kg)*</b>	<b>Diámetro de la cadena (mm)</b>	<b>Diámetro de la estacha nylon (mm)</b>
3	3,5	4,7	6	10
<b>5</b>	<b>6</b>	8	<b>6</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>10</b>	13,3	<b>6</b>	<b>10</b>
9	14	18,7	8	12
12	20	26,6	8	12
15	33	43,9	10	14
18	46	61,2	10	14



21	58	77,1	12	16
24	75	99,8	12	16
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La longitud de la línea completa de fondeo será como mínimo cinco veces la eslora de la embarcación.</li> <li>- La longitud del tramo de la cadena será como mínimo igual a la eslora de la embarcación, excepto en embarcaciones de menos de seis metros de eslora, en las que la línea puede estar constituida solo por estacha.</li> <li>- La cadena es de acero galvanizado, medido según EN 24565.</li> <li>- No se admiten uniones sin grillete.</li> <li>- El peso del ancla podrá dividirse en dos anclas, siendo el peso del ancla principal no menor a 75% del peso total.</li> <li>- Para valores intermedios de la tabla se interpolará. Para un valor de eslora de 5,457, da un peso del ancla con un alto poder de agarre de 6,914 kg.</li> </ul>				
* Anclas sin alto poder de agarre: es el pesos de la columna de la izquierda aumentado en 1/3.				

Fig.64 Líneas de fondeo. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

## 8.6. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE CONTRAINCENDIOS

En este caso no será necesaria una instalación fija de extinción, ya que se trata de un motor fueraborda. De modo que la instalación estará compuesta por los siguientes equipos de extinción.

### 8.6.1. NÚMERO DE EXTINTORES SEGÚN ESLORA

La siguiente tabla indica el tipo y número de extintores a instalar en la embarcación según la eslora:

<b>Número de extintores según eslora</b>		
<b>Eslora (m)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>
<b>&lt; 10</b> <i>Sin cabina cerrada</i>	<i>No se exigen</i>	-
<10 Con cabina cerrada	1	21B
10 ≤ L < 15	1	
15 ≤ L < 20	2	
20 ≤ L < 20	3	

Fig.65 Número de extintores según eslora. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

En este caso, no se exige ningún extintor según la eslora de la embarcación, que será de unos 5,4 metros.

### 8.6.2. NÚMERO DE EXTINTORES SEGÚN LA POTENCIA MÁXIMA INSTALADA

La siguiente tabla indica el tipo y número de extintores a instalar en la embarcación según la potencia máxima instalada:

<b>Número de extintores según la potencia máxima instalada</b>				
<b>Potencia</b>	<b>Tipo</b>			
	<b>Cantidad</b>	<b>1 motor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>2 motores</b>
< 20 kW (27,17 CV) Embarcaciones con motores fueraborda y adscritas en las categorías de navegación 6 y 7.	Según tabla anterior			
≤150 kW (204 CV)	1	21B	1	21B
150<P≤300 kW (407 CV)	1	34B	2	21B
300<P≤450 kW (612 CV)	1	55B	2	34B
>450 kW (612 CV)	1	55B	2	55B*
*En el caso de que la potencia de cada uno sea inferior a 300 kW, pueden instalarse 2 extintores de tipo 34B.				

Fig.66 Número de extintores según la potencia máxima instalada. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

### 8.6.3. BALDES CONTRAINCENDIOS

La siguiente tabla indica el número de baldes a llevar a bordo en función de la categoría de navegación estipulada:

<b>Baldes contraincendios</b>	
<b>Categoría de navegación</b>	<b>Número de baldes contraincendios con rabiza</b>
<b>A</b>	2
<b>B</b>	
<b>C</b>	1
- La capacidad mínima de los baldes será de 7 litros. - Los baldes contraincendios podrán usarse también para achique o para otros servicios, pero nunca para trasvasar combustible u otros líquidos inflamables.	

Fig.67 Baldes contraincendios. Circular 7/95. Apartado 9.

En el caso de esta embarcación, será necesario llevar un balde a bordo.

### 8.7. EQUIPOS DE ACHIQUE

La siguiente tabla describe los equipos de achique a llevar:

<i>Equipos de achique</i>	
<i>Zonas de navegación</i>	<i>Descripción del equipo</i>
<b>1</b>	- 1 Bomba accionada por motor principal u otra fuente de energía. - 1 Bomba de accionamiento manual, mínimo 45 emboladas/minuto. En veleros se accionará desde bañera. - 2 Baldes.
<b>2</b>	
<b>3</b>	
<b>4</b>	<i>- 1 Bomba. Si es de accionamiento manual será mínimo de 45 emboladas/minuto. En veleros se accionará desde bañera.</i> <i>- 1 Baldes*.</i>
<b>5</b>	
<b>6</b>	
<b>7</b>	- 1 Bomba manual o eléctrica.
*La embarcación solamente llevará un balde que hará la función de contra incendios y de achique.	

Fig.68 Equipos de achique. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

#### 8.7.1. CAPACIDAD DE LAS BOMBAS SEGÚN LA ESLORA

La siguiente tabla indica la capacidad de las bombas en función de la eslora:

<i>Capacidad de las bombas según eslora (a una presión de 10kPa)</i>	
<i>Eslora</i>	<i>Caudal mínimo</i>
<i><math>\leq 6</math> metros</i>	<i>10 litros/minuto</i>
<i>&gt; 6 metros</i>	<i>15 litros/minuto</i>
<i><math>\geq 12</math> metros</i>	<i>30 litros/minuto</i>

Fig.69 Capacidad de las bombas según la eslora. ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de abril.

## 9. ESTIMACIÓN DE PESOS

En el presente capítulo se procede al cálculo de pesos para, seguidamente, realizar el cálculo de estabilidad de la embarcación.

### 9.1. PESO EN ROSCA

En primer lugar, se procede a calcular el peso en rosca, el cual está compuesto por el peso de la estructura, el peso de la maquinaria y el peso de los equipos. Para ello, se calcularán estos pesos y, finalmente, se obtendrá el peso en rosca.

#### 9.1.1. PESO DE LA ESTRUCTURA

La siguiente tabla indica el peso del fondo del casco:

<i>Fondo</i>		
Área m <sup>2</sup>	w kg/m <sup>2</sup>	Peso kg
9,40	7,65	71,92

A continuación, el peso del costado del casco:

<i>Costado</i>		
Área m <sup>2</sup>	w kg/m <sup>2</sup>	Peso kg
7,85	3,5	27,47

Seguidamente, el peso de la cubierta de la embarcación:

<b>Cubierta</b>		
<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>w kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Peso kg</b>
17,97	4	71,88

En la siguiente tabla, se muestra el peso de cada uno de los mamparos existentes en la embarcación y la posición de su centro de gravedad:

<b>Mamparo</b>							
<b>Mamparos</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>w kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Peso kg</b>	<b>PVC mm</b>	<b>ρ PVC kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Peso PVC kg</b>	<b>Peso TOTAL kg</b>
Proa	0,19	1,50	0,29	4	48	0,03	0,33
Central de proa	0,68	1,50	1,03	6	48	0,19	1,22
Central de popa	0,68	1,50	1,03	8	48	0,26	1,29
Popa	1,92	1,50	2,88	7	48	0,64	3,53
<b>TOTAL</b>	<b>3,49</b>	<b>1,50</b>	<b>5,24</b>	<b>25</b>	<b>48</b>	<b>1,14</b>	<b>6,38</b>
<b>Centro de gravedad</b>							
<b>Mamparos</b>	<b>KG (mm)</b>	<b>XG (mm)</b>	<b>LCG (mm)</b>	<b>Mv (mm)</b>	<b>MI (mm)</b>	<b>Mt (mm)</b>	
Proa	0,33	992,90	5185,20	0	332,62	1737,04	
Central de proa	1,22	614,70	3878,30	0	754,85	4762,55	
Central de popa	1,29	549,30	2510,10	0	710,79	3248,06	
Popa	3,53	505,30	1158	0	1783,70	4087,74	
<b>TOTAL</b>	<b>6,38</b>	<b>560,82</b>	<b>2166,18</b>	<b>0</b>	<b>3581,97</b>	<b>13835,40</b>	

A continuación, el peso del pantoque:

<i>Pantoque</i>		
Área m <sup>2</sup>	w kg/m <sup>2</sup>	Peso kg
1,64	1,5	2,47

Seguidamente, el peso de la quilla:

<i>Quilla</i>						
Área m <sup>2</sup>	w kg/m <sup>2</sup>	Peso kg	PVC mm	ρ PVC kg/m <sup>2</sup>	Peso PVC kg	Peso TOTAL kg
2,28	4,10	9,35	65	48	3	12,35

Una vez se consigue el peso del casco y de los refuerzos, se procede al cálculo de la estructura completa y de la posición de su centro de gravedad, tal y como se observa en la siguiente tabla:

<i>Peso de la Estructura</i>							
Elementos	m (kg)	KG (mm)	XG (mm)	LCG (mm)	Mv (mm)	MI (mm)	Mt (mm)
Fondo	71,92	175,10	2306,60	0	12594,82	165912,18	0
Costado	27,47	871,60	2749,50	0	23950,93	75554,25	0
Cubierta	71,88	766,80	2728,50	0	55119,33	196130,80	0
Mamparos	6,38	560,82	2166,18	0	3581,97	13835,40	6,38
Pantoque	2,47	430	2728,50	0	1063,47	6748,12	0
Quilla	12,35	90	2728,50	0	1111,70	33703,14	0
<b>TOTAL</b>	192,50	506,08	2555,19	0	97422,24	491883,91	0

### 9.1.2. PESO DE LA MAQUINARIA

En el presente apartado, se realiza el cálculo de la maquinaria, ya que es necesario para la obtención del peso en rosca:

<i>Peso de la Maquinaria</i>							
Maquinaria	m (kg)	KG (mm)	XG (mm)	LCG (mm)	Mv (mm)	MI (mm)	Mt (mm)
Motor	186	575,30	165,50	0	107005,80	30783	0
Bomba	0,20	624,60	2849,20	-547,50	124,92	569,84	-109,50
<b>TOTAL</b>	186,20	575,35	168,38	-0,58	107130,72	31352,84	-109,50

### 9.1.3. PESO DEL EQUIPO

A continuación, el cálculo del peso de los equipos:

<i>Peso del Equipo</i>							
Equipos	m (kg)	KG (mm)	XG (mm)	LCG (mm)	Mv (mm)	MI (mm)	Mt (mm)
Material náutico	4	366,10	781,50	-594,10	1464,40	3126	-2376,40
Botiquines	3	366,10	781,50	-594,10	1098,30	2344,50	-1782,30
Radiocomunicaciones	3	624,60	2849,20	547,50	1873,80	8547,60	1642,50
Señales de socorro	2	592,80	3902,20	-594,10	1185,60	7804,40	-1188,20
Salvamento (chalecos (1,5))	6	624,60	2849,20	-618,60	3747,60	17095,20	-3711,60
Líneas de fondeo	35	882,90	5072,90	0	30901,50	177551,50	0
Extintores	5	592,80	3902,20	-594,10	2964	19511	-2970,50
Balde	0,40	624,60	2849,20	-618,60	249,84	1139,68	-247,44
Sofá babor proa	3	749,90	3902,20	-415,50	2249,70	11706,60	-1246,50
Sofá estribor proa	3	749,90	3902,20	415,50	2249,70	11706,60	1246,50
Sofá popa	5	639,50	760,70	0	3197,50	3803,50	0
Asiento piloto	15	637,78	2122,50	508	9566,70	31837,50	7620

Asiento copiloto	15	637,78	2122,50	-508	9566,70	31837,50	-7620
Defensas (4x1,5)	6	777	2471,30	0	4662	14827,80	0
Parabrisas	45	1373,70	2828,40	0	61816,50	127278	0
Pasamanos y candeleros	4,5	1263,50	2471,30	0	5685,75	11120,85	0
<b>TOTAL</b>	154,9	919,81	3106,76	-68,65	142479,59	481238,23	-10633,94

#### 9.1.4. PESO EN ROSCA

Finalmente, se obtiene el peso en rosca:

<i>Peso en Rosca</i>							
Elementos	m (kg)	KG (mm)	XG (mm)	LCG (mm)	Mv (mm)	MI (mm)	Mt (mm)
Estructura	192,50	506,08	2555,19	0	97422,24	491883,91	0
Maquinaria	186,20	575,35	168,38	-0,58	107130,72	31352,84	-109,50
Equipo	154,90	919,81	3106,76	-68,65	142479,59	481238,23	-10633,94
<b>TOTAL</b>	533,60	650,35	1882,44	-20,13	347034,03	1004482,44	-10743,44

#### 9.2. PESO MUERTO

En el siguiente apartado se procederá al cálculo del peso muerto, el cual está compuesto por la tripulación y sus pertrechos. Se calculará en la condición de plena carga y en la condición de mínima carga.



### 9.2.1. PLENA CARGA

Condición de plena carga:

<b>Peso Muerto - Plena Carga</b>							
<b>Elementos</b>	<b>m (kg)</b>	<b>KG (mm)</b>	<b>XG (mm)</b>	<b>LCG (mm)</b>	<b>Mv (mm)</b>	<b>MI (mm)</b>	<b>Mt (mm)</b>
Persona 1	75	759,80	2123,50	465,90	56985	159262,50	34942,50
Persona 2	75	759,80	2123,50	-465,90	56985	159262,50	-34942,50
Persona 3	75	876,90	3529,10	415,50	65767,50	264682,50	31162,50
Persona 4	75	876,90	3529,10	-415,50	65767,50	264682,50	-31162,50
Pertrechos 1	20	570,30	4438,60	244	11406	88772	4880
Pertrechos 2	20	570,30	4438,60	-244	11406	88772	-4880
Pertrechos 3	20	411,60	830,60	585,80	8232	16612	11716
Pertrechos 4	20	411,60	830,60	0	8232	16612	0
<b>TOTAL</b>	<b>380</b>	<b>749,42</b>	<b>2785,94</b>	<b>30,83</b>	<b>284781</b>	<b>1058658</b>	<b>11716</b>

### 9.2.2. MÍNIMA CARGA

Condición de mínima carga:

<b>Peso Muerto – Mínima Carga</b>							
<b>Elementos</b>	<b>m (kg)</b>	<b>KG (mm)</b>	<b>XG (mm)</b>	<b>LCG (mm)</b>	<b>Mv (mm)</b>	<b>MI (mm)</b>	<b>Mt (mm)</b>
Persona 1	75	759,80	2123,50	465,90	56985	159262,50	34942,50
Pertrechos 1	20	624,60	2849,20	-618,60	12492	56984	-12372
<b>TOTAL</b>	<b>95</b>	<b>731,33</b>	<b>2276,27</b>	<b>237,58</b>	<b>69477</b>	<b>216246,50</b>	<b>22570,50</b>

### 9.3. CONDICIONES DE CARGA

Finalmente, se realiza el cálculo del peso total de la embarcación, compuesto por el peso en rosca y el peso muerto, calculados ambos anteriormente. Se procederá al cálculo de dicho peso en dos condiciones de carga, igual que el apartado anterior, a plena carga y a mínima carga.

#### 9.3.1. MÁXIMA CARGA

Condición de máxima carga:

<i>Máxima Carga</i>							
Elementos	m (kg)	KG (mm)	XG (mm)	LCG (mm)	Mv (mm)	MI (mm)	Mt (mm)
Rosca	533,60	650,35	1882,44	-20,13	347034,03	1004482,44	-10743,44
Muerto	380	749,42	2785,94	30,83	284781	1058658	11716
<b>TOTAL</b>	913,60	691,56	2258,23	1,06	631815,03	2063140,44	972,56

#### 9.3.2. MÍNIMA CARGA

Condición de mínima carga:

<i>Mínima Carga</i>							
Elementos	m (kg)	KG (mm)	XG (mm)	LCG (mm)	Mv (mm)	MI (mm)	Mt (mm)
Rosca	533,60	650,35	1882,44	-20,13	347034,03	1004482,44	-10743,44
Muerto	95	731,33	2276,27	237,58	69477	216246,50	22570,50
<b>TOTAL</b>	628,60	662,59	1941,96	18,81	416511,03	1220728,94	11827,06

#### 9.4. CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD

Y para terminar, el capítulo se procede al cálculo del centro de gravedad de la embarcación en las dos condiciones anteriores:

<i>Centro de gravedad – Máxima Carga</i>		
<b>KG (mm)</b>	<b>XG (mm)</b>	<b>LCG (mm)</b>
691,56	2258,23	1,06
<i>Centro de gravedad – Mínima Carga</i>		
<b>KG (mm)</b>	<b>XG (mm)</b>	<b>LCG (mm)</b>
662,59	1941,96	18,81

A continuación, se muestran las imágenes de la ubicación del centro de gravedad de la embarcación en las dos condiciones:

#### MÁXIMA CARGA

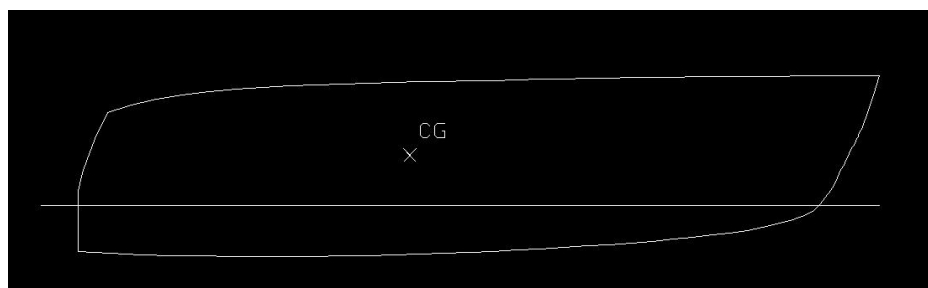


Fig.70 Vista del centro de gravedad en perfil en la condición de máxima carga. FUENTE PROPIA. Programa informático Autocad.

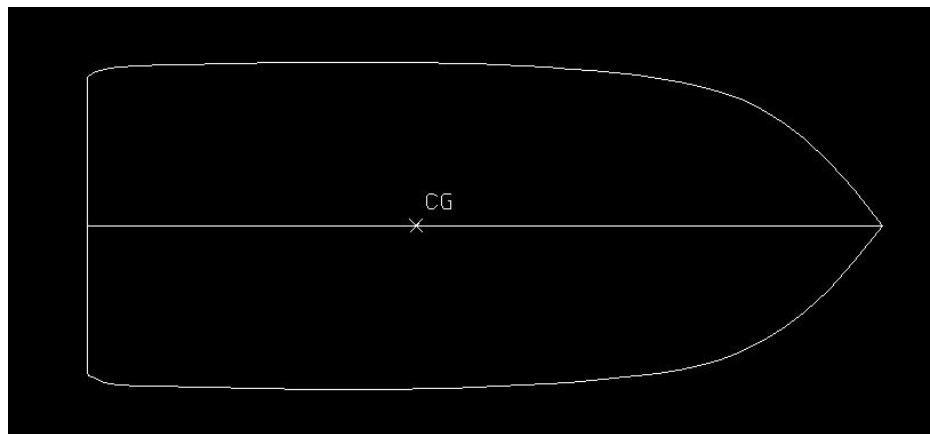


Fig.71 Vista del centro de gravedad en planta en la condición de máxima carga. FUENTE PROPIA.  
Programa informático Autocad.

## MÍNIMA CARGA



Fig.72 Vista del centro de gravedad en perfil en la condición de mínima carga. FUENTE PROPIA.  
Programa informático Autocad.

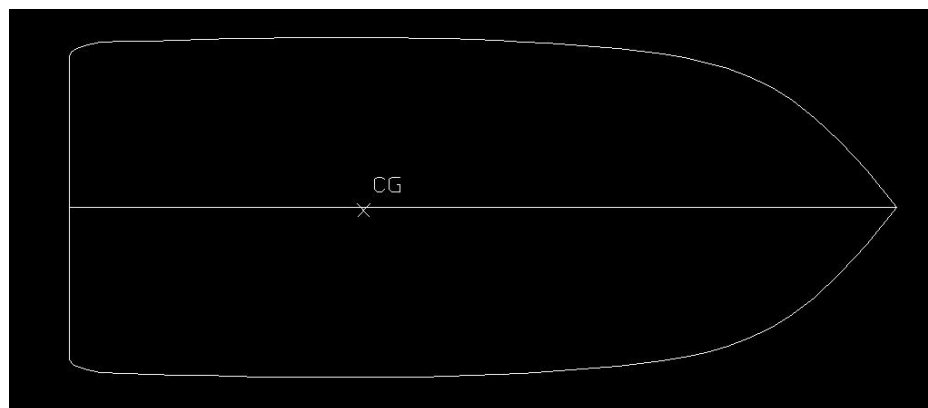


Fig.73 Vista del centro de gravedad en planta en la condición de mínima carga. FUENTE PROPIA.  
Programa informático Autocad.

## 10.- CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD

Una vez realizado el cálculo de pesos, se procederá en el siguiente capítulo al cálculo de la escora de la embarcación.

### **10.1. ESCORA**

De modo que se efectuará el cálculo de los brazos adrizantes en las dos condiciones de carga mediante el programa informático **Hidromax**. Estos gráficos permiten saber a qué ángulo de escora la embarcación perderá la estabilidad y no será capaz de recuperar su posición inicial.

### 10.1.1. MÁXIMA CARGA

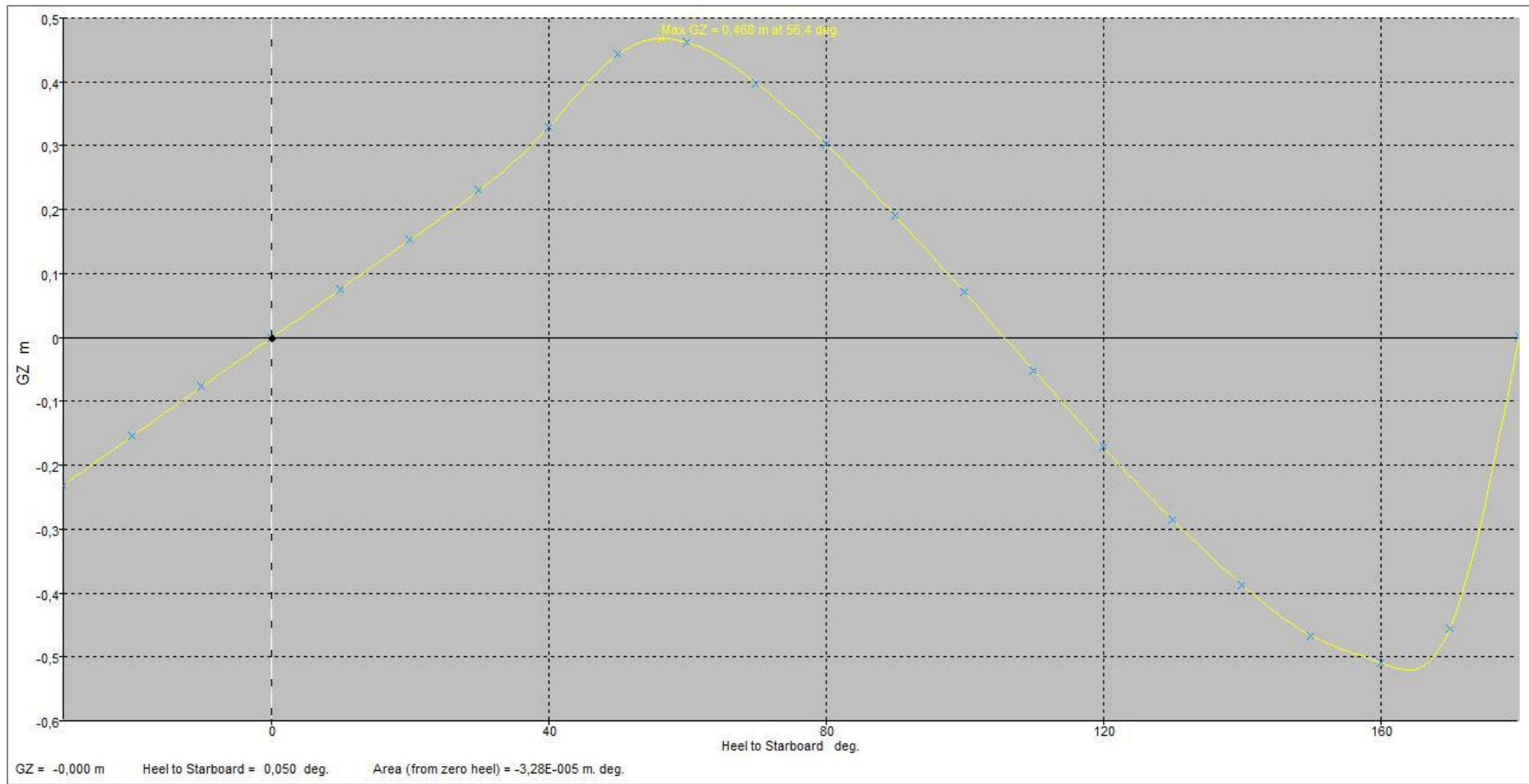


Fig.74 Gráfico Brazo adrizante – Máxima carga. FUENTE PROPIA. Programa informático Hydromax.

### 10.1.2. MÍNIMA CARGA

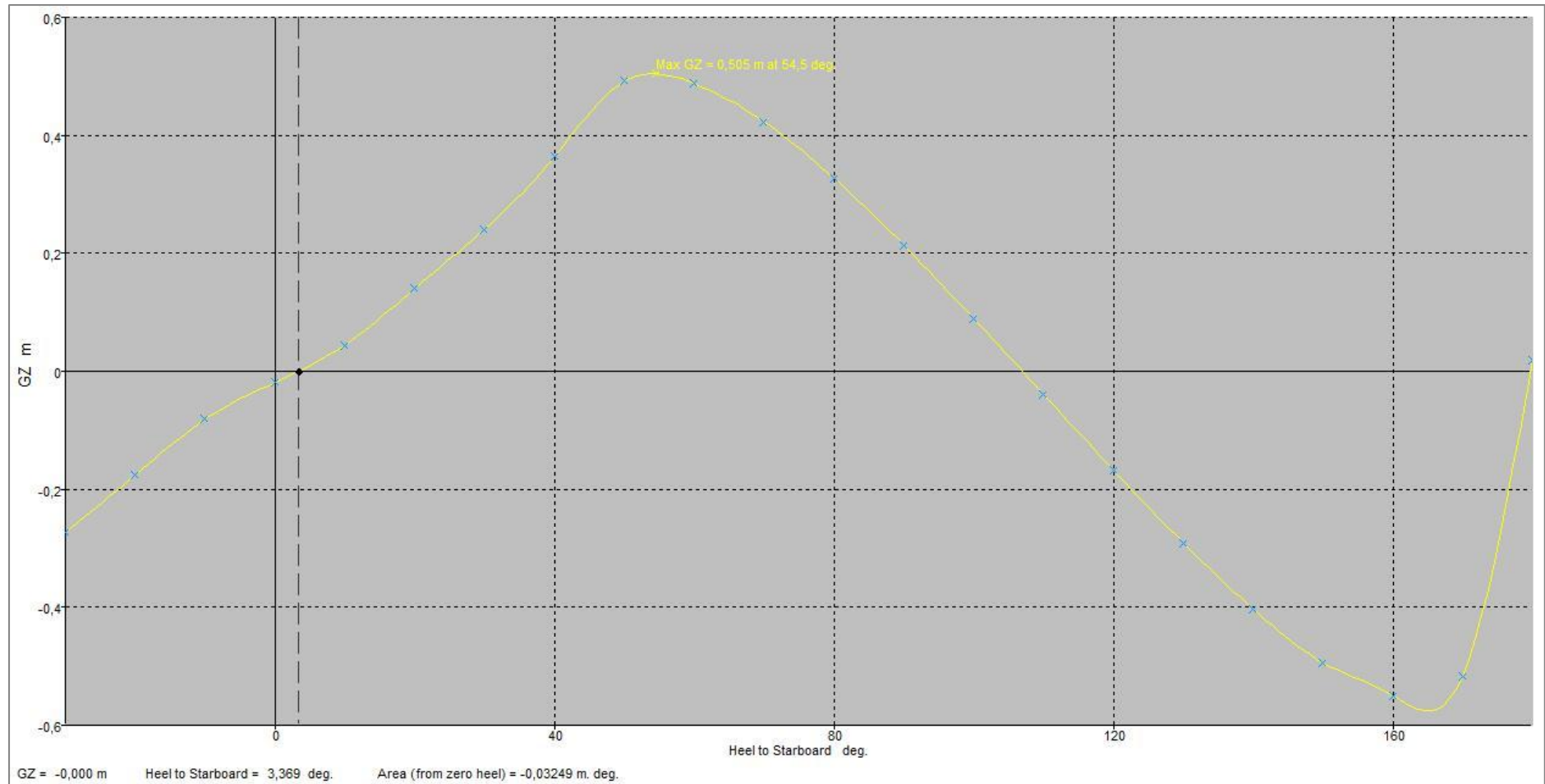


Fig.75 Gráfico Brazo adrizante – Mínima carga.FUENTE PROPIA. Programa informático Hydromax.

## 11. - RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la embarcación son los siguientes:

<i>Embarcación</i>			
<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Máxima Carga</b>	<b>Mínima Carga</b>
<b>LOA</b>	m	5,457	5,457
<b>L<sub>WL</sub></b>	m	5,219	5,132
<b>T</b>	m	0,430	0,345
<b>B</b>	m	2,243	2,243
<b>B<sub>WL</sub></b>	m	1,392	1,407
<b>D</b>	m	1,237	1,237
<b>V</b>	nudos	40	40
<b>KG</b>	m	0,691	0,660
<b>XG</b>	m	2,265	2,002
<b>LCG</b>	m	-0,001	0,046
<b><math>\Delta</math></b>	kg	913,600	628,600
<b>Escora</b>	º	0	≈0



## 12. - CONCLUSIONES

Una vez llegados a este capítulo podemos concluir que se han cumplido los objetivos establecidos. En este último capítulo se hablará de las complicaciones que han ido apareciendo y de los resultados conseguidos.

Todos empezamos un proyecto con ganas, con ilusión, pero resulta necesario conseguir que estas ganas y esta ilusión no se desvanezcan, ya que a lo largo del proyecto ha habido numerosas complicaciones que hubiesen podido provocar el fin del trabajo.

Es evidente que el tiempo que estipulé para realizar el trabajo no se ha cumplido pero también, es evidente que nunca había realizado un trabajo de este calibre. Realizando dicho proyecto he conseguido saber seguir adelante y sobretodo he aprendido muchísimo.

Han aparecido muchas complicaciones en cuanto al capítulo del escantillonado ya que nunca había calculado nada de la estructura de una embarcación. Pero, finalmente, se han conseguido los resultados esperados.

Otro punto a destacar, es el uso de los programas informáticos. Éstos permiten ganar tiempo a gran escala una vez sabes utilizarlos, ya que el aprendizaje de estos ha implicado muchas horas de estudio por el complicado funcionamiento de alguno de ellos.

En definitiva, estoy satisfecha con los resultados conseguidos.

### **12.1. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO**

Este proyecto podría ampliarse en el futuro, añadiendo, por ejemplo, los siguientes estudios:

- Planificación del proyecto.
- Estudio de los sistemas de la embarcación.
- Exhaustivo cálculo de la estabilidad y la flotabilidad de la embarcación.
- Presupuesto.
- Aspectos medioambientales.
- Diseño en 3D.
- Etc.

## 13 . - BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFIA

- LARSSON L., E ELIASSON R. *Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.
- BESEDNJAK A. *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ed. UPC; Barcelona 2005.
- SAVITSKY D. *Hydrodynamic design of planning hulls*. Marine Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 71-95. Octubre 1964.
- SAVITSKY D., WARD BROWN P. *Procedures for hydrodynamic evaluation of planning hulls in smooth and rough water*. Marine Technology, Vol. 13, No. 4. Oct. 1976. pp. 381-400.

### WEBGRAFIA

[www.fondear.com](http://www.fondear.com)

[www.fomento.es](http://www.fomento.es)

[www.movilmotors.com](http://www.movilmotors.com)

### APUNTES

- Fonaments de la construcció naval i propulsors. Vicente Sáenz y Adrián Prada. Facultat de Nàutica de Barcelona 2009.
- Fonaments d'hidrostatica i estabilitat. Sergi Moyano. Facultat de Nàutica de Barcelona 2010.

- Projectes. Julio García. Facultat de Nàutica de Barcelona 2009.
- Inspecció tècnica d'embarcacions d'esbarjo. Vicente Sáenz. Facultat de Nàutica de Barcelona 2008.

#### NORMATIVA

- Real Decreto 297/1998, de 27 de febrero, por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, embarcaciones de recreo semiacabadas y sus componentes, en aplicación de la Directiva 94/25/CE.
- ORDEN/FOM/1144/2003, de 28 de abril de 2003 (B.O.E. nº 113 de 12 de mayo de 2003), regula los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo los barcos de recreo.
- Circular 7/95: Construcción, equipos y reconocimiento de las embarcaciones de recreo.
- ISO 12215-5: Construcción del casco y determinación del escantillonado. 2004.

## 14 . - ANEXO I

### **14.1.- PATRÓN DE NAVEGACIÓN BÁSICA (PNB)**

#### ATRIBUCIONES DEL TÍTULO

- Gobierno de embarcaciones de recreo de hasta 8 metros de eslora si son de vela y hasta 7,5 metros de eslora si son de motor, con la potencia de motor adecuada a la misma, siempre que la embarcación no se aleje más de 5 millas, en cualquier dirección, de un abrigo. Además, podrán gobernar motos náuticas.

#### CONDICIONES DE OBTENCIÓN

- Haber cumplido 18 años de edad, o 16 años con consentimiento paterno o de tutor y,
- Aprobar el examen teórico correspondiente y,
- Aprobar el examen práctico o haber realizado las prácticas de seguridad y de navegación de al menos cuatro horas y,
- Superar un reconocimiento médico donde se acredite que reúne las condiciones psicofísicas establecidas en la *Resolución del 11 de enero de 2010 de la DGMM* en aplicación de la *Orden FOM/3200/2007*.
- Realizar las prácticas reglamentarias de radiocomunicaciones, cuya duración no podrá ser inferior a 2 horas, que se realizarán en tierra, en un simulador homologado de una escuela.

## 15. - ANEXO I I

En el siguiente anexo, se explica cómo se calcularía, paso por paso, la potencia y la resistencia mediante el método de Savitsky. Todo lo descrito en este anexo proviene del libro *Principles of yacht design*.

### 15.1. MÉTODO DE SAVITSKY

#### PASO 1

El primer paso a realizar consiste en determinar el valor de los siguientes parámetros:

<b>m<sub>LDC</sub></b>	Peso de la embarcación en condición de máxima carga	kg
<b>LCG</b>	Distancia longitudinal entre la perpendicular de popa y el centro de gravedad	m
<b>VCG</b>	Distancia vertical entre la quilla y el centro de gravedad	m
<b>b</b>	Manga máxima entre codillos	m
<b>ε</b>	Ángulo comprendido entre la línea base y el eje de la hélice*	º
<b>β</b>	Ángulo de astilla muerta	º
<b>f</b>	Distancia vertical entre el eje de la hélice y el centro de gravedad*	m
<b>V</b>	Velocidad	m/s
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad	m/s <sup>2</sup>
<b>ρ</b>	Densidad del agua	Kg/m <sup>3</sup>

\*Este parámetro se obtendrá de embarcaciones similares ya existentes.

Alguno de estos parámetros se indica sobre el casco de la embarcación en la siguiente imagen:

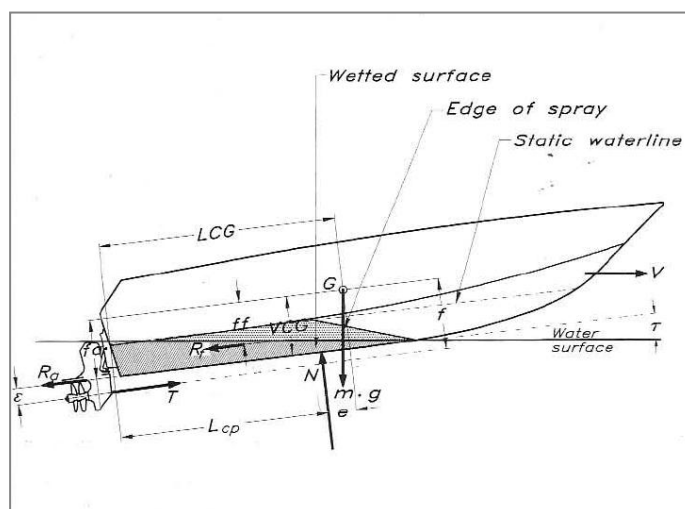


Fig.6 Fuerzas sobre un casco. LARSSON L., E ELIASSON R. *Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.

PASO 2

Calcular el *coeficiente de velocidad*  $C_v$ ,

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{g \cdot b}}$$

PASO 3

Calcular el *coeficiente de sustentación* para una placa plana  $C_{L_{oflat}}$ ,

$$C_{L_{oflat}} = \frac{\Delta \cdot g}{0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot b^2}$$

A continuación, el Método Savitsky relaciona mediante la siguiente fórmula el coeficiente de sustentación para una placa plana, es decir, sin ángulo de astilla muerta, con el coeficiente de sustentación de una placa con un cierto ángulo de astilla muerta.

$$C_{L_\beta} = C_{L_0} - 0.0065 \cdot \beta \cdot C_{L_{oflat}}^{0.6}$$

$C_{L_\beta}$	Coeficiente de sustentación con un ángulo de astilla muerta diferente a cero
---------------	--

Se considerará que,

$$C_{L_{oflat}} = C_{L_\beta}$$

Obteniendo de esta manera el *correcto coeficiente de sustentación*  $C_{L_0}$ ,

$$C_{L_0} = C_{L_\beta} + 0.0065 \cdot \beta \cdot C_{L_{oflat}}^{0.6}$$

Seguidamente, se sustituye el valor del  $C_{L_{oflat}}$  en la formula anterior para encontrar el  $C_{L_0}$ . Una vez obtenido el resultado, este lo sustituimos otra vez en la misma fórmula en el lugar del  $C_{L_{oflat}}$  y el  $C_{L_\beta}$ , hasta que el valor del  $C_{L_0}$  deje de variar.

PASO 4

Seguidamente, se estimaran dos valores para el *ángulo de trimado*  $\tau$ , ya que todos los pasos descritos deben realizarse por partida doble.

PASO 5

Calcular el valor de  $\lambda$ , que es la *relación eslora-manga mojada*, mediante los valores de  $C_{L0}$  y  $\tau$  obtenidos anteriormente,

$$C_{L0} = \tau^{1.1} \cdot (0.012 \cdot \lambda^{0.5} + 0.0055 \cdot \frac{\lambda^{2.5}}{C_v^2})$$

PASO 6

Calcular el valor de la *eslora mojada*  $L_m$ ,

$$\lambda = \frac{L_m}{b}$$

$$L_m = \lambda \cdot b$$

PASO 7

Calcular el *número de Reynolds*  $R_n$  para poder calcular el *coeficiente de fricción*  $C_F$ ,

$$R_n = \frac{V \cdot 0,7 \cdot L_m}{\nu}$$

$\nu$	viscosidad	m <sup>2</sup> /s
-------	------------	-------------------

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

PASO 8

El valor de  $\lambda$ , que es la *relación eslora-manga mojada*, incrementa debido a la resistencia de fricción producida por las partículas de agua que no se mueven, estas tienden a ir hacia atrás aumentando la fricción. El *incremento de  $\lambda$* ,  $\Delta\lambda$ , se obtiene a partir de las siguiente grafica dependiendo del ángulo de astilla muerta y del ángulo de trimado.



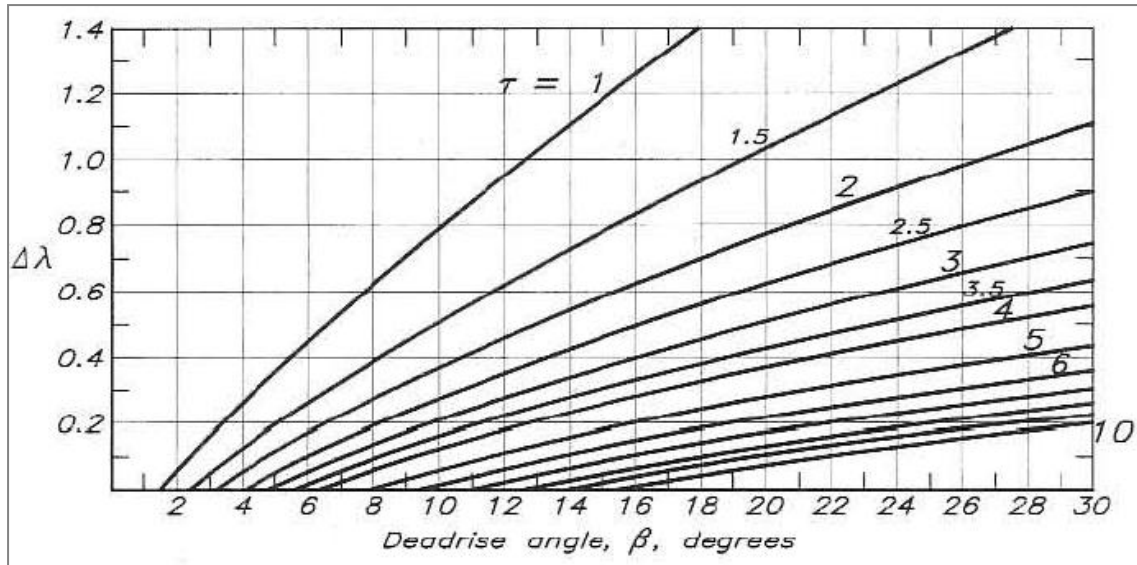


Fig.76 Gráfico  $\Delta\lambda$ - $\beta$ - $\tau$ . LARSSON L., E ELIASSEN R. *Principles of yacht design*, 3a ed., Londres 2007.

#### PASO 9

Calcular la *superficie mojada*  $S_w$  para poder obtener posteriormente la *resistencia de fricción*

$R_f$ ,

$$S_w = (\lambda + \Delta\lambda) \cdot \frac{b^2}{\cos\beta}$$

$$R_f = C_F \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_w$$

$$R_f = C_F \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot (\lambda + \Delta\lambda) \cdot \frac{b^2}{\cos\beta}$$

#### PASO 10

Calcular la *distancia vertical entre el punto de aplicación de esta resistencia, la resistencia de fricción, y el centro de gravedad*  $ff$

$$ff = VCG - \frac{b}{4} \cdot \tan\beta$$

#### PASO 11

Calcular la *distancia longitudinal entre la perpendicular de proa y el punto donde se producen las presiones*  $L_{cp}$ ,

$$\frac{L_{cp}}{L_m} = 0.75 - \frac{1}{\frac{5.21 \cdot C v^2}{\lambda^2} + 2.39}$$

$$L_{cp} = L_m \cdot \left[ 0.75 - \frac{1}{\frac{5.21 \cdot C v^2}{\lambda^2} + 2.39} \right]$$

PASO 12

Calcular el *brazo e*, que es la relación entre el LCG y el  $L_{cp}$

$$e = LCG - L_{cp}$$

PASO 13

Calcular el *momento ejercido por la presión del agua sobre la nave*  $M_h$ ,

$$M_h = g \cdot m \cdot \left[ \frac{e \cdot \cos(\tau + \varepsilon)}{\cos \varepsilon} - f \cdot \frac{\sin \tau}{\cos \varepsilon} \right]$$

PASO 14

Calcular el *momento ejercido por la resistencia de fricción*  $M_f$ ,

$$M_f = R_f \cdot \left[ f f - e \cdot \tan \varepsilon - \frac{f}{\cos \varepsilon} \right]$$

PASO 15

Suma de momentos  $M$ ,

$$M = M_h + M_f$$

PASO 16. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA

A continuación, se procede al cálculo de las siguientes interpolaciones para obtener la resistencia:

$$\tau_0 = \tau_1 - \frac{M_1 \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{M_2 - M_1}$$

$$R_{f0} = R_{f1} + \frac{R_{f2} - R_{f1}}{\tau_2 - \tau_1} \cdot (\tau_0 - \tau_1)$$

$$R = [g \cdot m \cdot \sin \tau_0 + R_{f0}] \cdot \frac{\cos(\tau_0 + \varepsilon)}{\cos \varepsilon}$$

#### PASO 17. CÁLCULO DE LA POTENCIA

Seguidamente, se calcula la potencia necesaria.

$$P_E = V \cdot R$$

## 16.- ANEXO III

### 16.1.- SÍMBOLOS

nº	Símbolo	Unidad	Descripción	Fórmula (ISO 12215-5)
<b>Presión de fondo</b>				
1	$P_{bm}$	$\text{kN/m}^2$	Presión de fondo	$P_{bm} = P_{bm \text{ base}} \cdot k_{ar} \cdot k_L$
2	$P_{bm \text{ min}}$	$\text{kN/m}^2$	Presión mínima de fondo	$P_{bm \text{ min}} = 10 \cdot (T_c + \frac{L_H}{17} \cdot f_w)$
3	$P_{bm \text{ base}}$	$\text{kN/m}^2$	Presión base de fondo	$P_{bm \text{ base}} = \frac{0,1 \cdot m_{LDC}}{L_{WL} \cdot B_c} \cdot (1 + f_w \cdot n_{cg})$
4	$n_{cg}$	$g's$	Factor dinámico de carga	$n_{cg} = 0,32 \cdot \left( \frac{L_{WL}}{10 \cdot B_c} + 0,084 \right) \cdot (50 - \beta) \cdot \frac{V^2 \cdot B_c^2}{m_{LDC}}$
5	$m_{LDC}$	kg	Desplazamiento de la embarcación en condiciones de máxima carga	-
6	$L_{WL}$	m	Eslora en la línea de flotación	-
7	$V$	nudos	Velocidad	-
8	$B_c$	m	Manga en el pantoque	-
9	$f_w$	-	Factor de categoría de diseño	-
10	$\beta$	º	Ángulo de astilla muerta	-
11	$L_H$	m	Eslora de la embarcación	-
12	$T_c$	m	Máximo calado en condiciones de máxima carga	-
13	$k_L$	-	Factor de distribución longitudinal de la presión	$k_L = 0,13 \cdot \left[ \left( 0,35 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \right) + 4,14 \right]$ para $\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,25$

				$k_L = 1 \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
14	x	m	Distancia desde el centro del panel o refuerzo a la perpendicular de popa	-
15	$k_{ar}$	-	Factor de reducción de la presión en el área	$k_{ar} = \left[ 0,455 - 0,35 \cdot \left( \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right) \right] \cdot 1,35$
16	u	-	-	$u = 100 \cdot \frac{A_d}{A_r}$
17	$A_d$	m <sup>2</sup>	Área de diseño	$A_d = (l \cdot b) \cdot 10^{-6}$
18	b	mm	Dimensión más corta del panel	-
19	l	mm	Dimensión más larga del panel	-
20	$A_r$	m <sup>2</sup>	Área de referencia	$A_r = \left( 0,6 - \frac{L_H - 3}{70} \right) \cdot L_{WL} \cdot B_C$
<b>Presión del costado</b>				
21	$P_{sm}$	kN/m <sup>2</sup>	Presión del costado	$P_{sm} = f_w \cdot 10 \cdot h_{sc} \cdot k_v (0,2 \cdot P_{bm \text{ base}} \cdot k_{ar} \cdot k_L)$
22	$P_{sm \text{ min}}$	kN/m <sup>2</sup>	Presión mínima del costado	$P_{sm \text{ min}} = (0,18 \cdot L_{WL} + 2,37) \cdot f_w$
3	$P_{bm \text{ base}}$	kN/m <sup>2</sup>	Presión base de fondo	$P_{bm \text{ base}} = \frac{0,1 \cdot m_{LDC}}{L_{WL} \cdot B_C} \cdot (1 + f_w \cdot n_{cg})$
9	$f_w$	-	Factor de categoría de diseño	-
15	$k_{ar}$	-	Factor de reducción de la presión en el área	$k_{ar} = \left[ 0,455 - 0,35 \cdot \left( \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right) \right] \cdot 1,35$
13	$k_L$	-	Factor de distribución longitudinal de la presión	$k_L = 0,13 \cdot \left[ \left( 0,35 \cdot \frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} \right) + 4,14 \right] \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,25$  $k_L = 1 \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
23	$k_v$	-	Factor de distribución vertical de la presión	$k_v = \frac{z - h}{z}$
24	h	m	Altura por encima del codo al centro del panel o a la mitad del refuerzo	-
25	z	m	Altura sobre la línea de flotación hasta el extremo del panel de costado	-

26	$h_{SC}$	m	Altura de escantillonado sobre la línea de flotación	$h_{SC} = \frac{L_H}{17}$
Presión de cubierta				
27	$P_{dm}$	$kN/m^2$	Presión de cubierta	$P_{dm} = f_w \cdot k_d \cdot (0,3 \cdot L_H + 14,6)$
28	$P_{dm \min}$	$kN/m^2$	Presión mínima de cubierta	$P_{dm \min} = 5$
9	$f_w$	-	Factor de categoría de diseño	-
11	$L_H$	m	Eslora de la embarcación	-
29	$k_d$	-	Factor de reducción de la presión de cubierta	$k_d = 1,1 - \frac{0,4 \cdot b}{1000}$
18	$b$	mm	Dimensión más corta del panel	-
Presión de mamparos				
30	$P_{wb}$	$kN/m^2$	Presión del mamparo	$P_{wb} = 7,2 \cdot h_b$
31	$h_b$	m	Altura de carga del agua	$h_b = \frac{2}{3} \cdot h$
32	$h$	m	Altura del mamparo	-
Escantillonado				
33	$t_1$	mm	Espesor	$t_1 = b \cdot f_k \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}}$
34	$t_2$	mm	Espesor	$t_2 = b \cdot f_k \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot k_3}{1000 \cdot k_1 \cdot E_f}}$
18	$b$	mm	Dimensión más corta del panel	-
35	$f_k$	-	Factor de categoría de diseño	-

36	P	kN/m <sup>2</sup>	Presión de fondo, costado, cubierta, etc.	-
37	k <sub>2</sub>	-	Factor de alargamiento por resistencia a la flexión	$k_2 = \frac{0,271 \cdot \frac{l^2}{b} + 0,910 \cdot \frac{l}{b} - 0,554}{\frac{l^2}{b} - 0,313 \cdot \frac{l}{b} + 1,351}$
19	l	mm	Dimensión más larga del panel	-
38	σ <sub>d</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo de diseño para el revestimiento de FRP	$\sigma_d = 0,625 \cdot \sigma_{uf}$
39	σ <sub>uf</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión	$502\psi^2 + 107$
40	k <sub>3</sub>	-	Factor de alargamiento por rigidez a la flexión	$k_3 = \frac{0,027 \cdot \frac{l^2}{b} - 0,029 \cdot \frac{l}{b} - 0,011}{\frac{l^2}{b} - 1,463 \cdot \frac{l}{b} + 1,108}$
41	k <sub>1</sub>	-	Coeficiente de resistencia a la flexión	$k_1 = 0,047$
42	E <sub>f</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Módulo de flexión	$33400\psi^2 + 2200$
43	ψ	-	Contenido en masa	-
44	w	Kg/m <sup>2</sup>	Masa de fibra de refuerzo	-
<b>Propiedades mecánicas del refuerzo de fibra de vidrio</b>				
45	σ <sub>ut</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción	$800\psi^2 - 80\psi + 37$
46	σ <sub>uc</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión	$150\psi + 72$
47	E	N/mm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad	$38000\psi - 5000$
39	σ <sub>uf</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión	$502\psi^2 + 107$
42	E <sub>f</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Módulo de flexión	$33400\psi^2 + 2200$
48	τ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia al corte	$80\psi + 38$
49	G	N/mm <sup>2</sup>	Módulo de corte	$1700\psi + 2240$
<b>Estructura sandwich - Mamparos</b>				
50	SM	cm <sup>3</sup>	Módulo de inercia	$SM = \frac{b^2 \cdot f_k^2 \cdot P \cdot k_2}{6 \cdot 10^5 \cdot \sigma_d}$

51	I	cm <sup>4</sup>	Momento de inercia	$I = \frac{b^3 \cdot f_k^3 \cdot P \cdot k_3}{12 \cdot 10^6 \cdot E}$
18	b	mm	Dimensión más corta del panel	-
35	f <sub>k</sub>	-	Factor de categoría de diseño	-
36	P	kN/m <sup>2</sup>	Presión de fondo, costado, cubierta, etc.	-
41	k <sub>1</sub>	-	Coeficiente de resistencia a la flexión	k <sub>1</sub> = 0,017
37	k <sub>2</sub>	-	Factor de alargamiento por resistencia a la flexión	$k_2 = \frac{0,271 \cdot \frac{l^2}{b} + 0,910 \cdot \frac{l}{b} - 0,554}{\frac{l^2}{b} - 0,313 \cdot \frac{l}{b} + 1,351}$
40	k <sub>3</sub>	-	Factor de alargamiento por rigidez a la flexión	$k_3 = \frac{0,027 \cdot \frac{l^2}{b} - 0,029 \cdot \frac{l}{b} - 0,011}{\frac{l^2}{b} - 1,463 \cdot \frac{l}{b} + 1,108}$
52	σ <sub>d</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Tensión de diseño para FRP	σ <sub>d</sub> = 0,625 · σ <sub>ut</sub> ó σ <sub>d</sub> = 0,625 · σ <sub>uc</sub>
45	σ <sub>ut</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción	800ψ <sup>2</sup> - 80ψ + 37
46	σ <sub>uc</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión	150ψ + 72
47	E	N/mm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad	38000ψ - 5000
53	d		Espesor	$d = \frac{v \cdot P \cdot b}{\tau_d \cdot 10^3}$
54	v		Coeficiente de la fuerza cortante	
55	τ <sub>d</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo cortante	τ <sub>d</sub> = 0,5 · τ <sub>u</sub>
48	τ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia al corte	80ψ + 38
56	w <sub>s</sub>	kg/m <sup>2</sup>	Masa de fibra	w <sub>s</sub> = f <sub>w</sub> · k <sub>4</sub> · k <sub>5</sub> · k <sub>6</sub> · (0,1 · L <sub>WL</sub> + 0,15)
9	f <sub>w</sub>	-	Factor de categoría de diseño	-
57	k <sub>4</sub>	-	Factor de ubicación para una capa mínima tipo sándwich	-
58	k <sub>5</sub>	-	Factor de fibra de un panel tipo sándwich	-
59	k <sub>6</sub>	-	Factor de atención de un panel tipo sándwich	-
6	L <sub>WL</sub>	m	Eslora en la línea de flotación	-
<b>Estructura sándwich – Pantoque y quilla</b>				



60	SM	cm <sup>3</sup>	Módulo de inercia	$SM = \frac{R_C \cdot K_B \cdot P \cdot s \cdot l_u^2}{\sigma_d}$
61	A <sub>w</sub>	cm <sup>2</sup>	Zona de corte	$A_w = \frac{k_{sa} \cdot P \cdot s \cdot l_u}{\tau_d}$
62	I	cm <sup>4</sup>	Momento de inercia	$I = \frac{N_B \cdot R_C^{1,5} \cdot P \cdot s \cdot l_u^3}{E}$
63	R <sub>C</sub>	-	Coeficiente de curvatura	-
64	K <sub>B</sub>	-	Coeficiente de fijación	-
36	P	kN/m <sup>2</sup>	Presión de fondo, costado, cubierta, etc.	-
65	s	m	Espacio entre refuerzos	-
66	l <sub>u</sub>	m	Longitud del refuerzo	-
67	σ <sub>d</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Tensión de diseño para FRP	$\sigma_d = 0,5 \cdot \sigma_{ut} \text{ ó } \sigma_d = 0,5 \cdot \sigma_{uc}$
68	k <sub>sa</sub>	-	Factor de zona de corte	-
55	τ <sub>d</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo cortante	$\tau_d = 0,5 \cdot \tau_u$
69	N <sub>B</sub>	-	Coeficiente de fijación	-
47	E	N/mm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad	38000ψ – 5000

## 16.2. CÁLCULO DE PRESIONES

$m_{LDC}$	$L_{WL}$	$B_c$	$f_w$	$\beta$	$v$	$L$	$T_c$
913,60	5,04	1,798	0,75	30	40	5,457	1,236

### 16.2.1. PRESIONES DE FONDO

Paneles	$P_{bm}$	$k_{ar}$	$k_l$	$n_{cg}$	$u$	$A_d$	$A_r$	$l$	$b$
2 Bf	40,212	0,271	1,348	13,200	23,589	1,207	5,119	1160	1041
4 Bf	39,253	0,264	1,348		25,523	1,306		1361	960
6 Bf	30,515	0,277	1		21,886	1,120		1397	802
8 Bf	42,847	0,389	1		8,038	0,411		1419	290
10 Bf	73,932	0,672	1		1,455	0,074		290	257

$P_{bm \text{ min}}$	$P_{bm \text{ base}}$
14,767	109,896

### 16.2.2. PRESIONES DE COSTADO

Paneles	$P_{sm}$	$h_{sc}$	$k_v$	$k_{ar}$	$k_l$	$u$	$A_d$	$A_r$	$l$	$b$	$z$	$h$
1 Bc	10,339	0,321	0,436	0,313	1,348	15,114	0,773	5,119	1160	667	0,640	0,360
3 Bc	9,496		0,452	0,283	1,348	20,471	1,047		1361	770	0,705	0,386
5 Bc	7,443		0,482	0,285	1	19,976	1,022		1397	732	0,725	0,375
7 Bc	8,417		0,587	0,318	1	14,373	0,735		1514	486	0,737	0,304
9 Bc	13,014		0,698	0,515	1	3,570	0,182		428	427	0,757	0,228

$P_{sm \min}$
2,457

### 16.2.3. PRESIONES DE CUBIERTA

Paneles	$P_{dm}$	$k_d$	$b$
1 B	12,582	1,033	167,0
2 B	10,954	0,899	501,1
3 B	11,371	0,933	415,5
4 B	10,746	0,882	543,8
5 B	9,233	0,758	854,5
6 B	10,930	0,897	506,1
7 B	12,635	1,037	156,1
8 B	12,149	0,997	255,8
9 B	12,149	0,997	255,8
10 B	12,450	1,022	194,1
1 Bc	10,959	0,899	500,2
2 Bc	11,083	0,910	474,7
3 Bc	9,621	0,790	774,8
4 Bc	11,068	0,908	477,7
5 Bc	11,010	0,904	489,6
6 Bc	11,673	0,958	353,5

$P_{dm \min}$
5

### 16.3. CÁLCULO DE ESPESORES

#### 16.3.1. ESPESORES DE FONDO

Paneles	$t_1$	$t_2$	$f_k$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$E_f$	$\sigma_d$	$\sigma_{uf}$	$l$	$b$
2 Bf	12,989	11,010	1	0,047	0,354	0,010	7280,140	91,677	183,354	1160	1041
4 Bf	13,162	11,614			0,439	0,015				1361	960
6 Bf	10,165	9,560			0,482	0,018				1397	802
8 Bf	4,145	4,153			0,437	0,023				1419	290
10 Bf	4,379	3,361			0,360	0,010				290	257

#### 16.3.2. ESPESORES DE COSTADO

Paneles	$t_1$	$t_2$	$f_k$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$E_f$	$\sigma_d$	$\sigma_{uf}$	$l$	$b$
1 Bc	4,920	5,540	1	0,047	0,482	0,018	7280,140	91,677	183,354	1160	667
3 Bc	5,456	6,241			0,484	0,019				1361	770
5 Bc	4,633	5,559			0,493	0,020				1397	732
7 Bc	3,250	4,019			0,487	0,022				1514	486
9 Bc	2,826	2,847			0,308	0,007				428	427

### 16.3.3. ESPESORES DE CUBIERTA

Paneles	$t_1$	$t_2$	$f_k$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$E_f$	$\sigma_d$	$\sigma_{uf}$	$l$	$b$
1 B	1,114	1,584	1	0,047	0,324	0,023	7280,140	91,677	183,354	2988,0	167,0
2 B	3,067	3,184			0,313	0,008				507,8	501,1
3 B	2,875	3,047			0,386	0,011				501,1	415,5
4 B	4,074	4,549			0,478	0,018				924,8	543,8
5 B	5,973	6,867			0,485	0,019				1515	854,5
6 B	3,555	3,839			0,413	0,013				660,4	506,1
7 B	1,057	1,483			0,332	0,023				2391,1	156,1
8 B	1,855	2,406			0,396	0,023				1782,7	255,8
9 B	1,960	2,108			0,443	0,015				368,5	255,8
10 B	1,387	1,839			0,376	0,023				1670,3	194,1
1 Bc	3,522	3,803			0,414	0,013				654,7	500,2
2 Bc	3,175	3,357			0,370	0,010				549,3	474,7
3 Bc	5,588	6,437			0,495	0,020				1515	774,8
4 Bc	3,269	3,483			0,387	0,011				578,8	477,7
5 Bc	3,682	4,446			0,471	0,023				1790,6	489,6
6 Bc	2,649	3,281			0,441	0,023				1671,3	353,5

#### 16.4. SECUENCIA DE LAMINADO

Tipo de capas de refuerzo	$\psi$
Chopped strand mat hand lay up	0,3
Woven roving	0,48

Para la obtención de  $w$ ,

$$t = \frac{w}{3,072} \cdot \left( \frac{2,56}{3,072} - 1,36 \right)$$

#### 16.5. DIMENSIONAMIENTO DE REFUERZOS

##### 16.5.1. MAMPAROS

Mamparos	$P_{wb}$	$h_b$	$h$
Proa	3,182	0,442	0,663
Central de proa	5,380	0,747	1,121
Central de popa	5,630	0,782	1,173
Popa	5,524	0,767	1,151

Mamparos	SM	I	$f_k$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	E	$\sigma_d$	$\sigma_u$	I	b
Proa	0,0018	0,0006	1	0,017	0,422	0,023	9820	79,675	127,48	1419	257
Central de proa	0,0351	0,0266			0,484	0,019				1419	802
Central de popa	0,0569	0,0506			0,446	0,015				1397	1041
Popa	0,0444	0,0313			0,354	0,010				1160	1041

Mamparos	$w_s$	d	v	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$f_w$	$\tau_d$	$\tau_u$	$\rho$
Proa	0,4905	1,549	0,500	1	1	1	0,75	0,264	0,528	48
Central de proa		8,131	0,497							
Central de popa		10,685	0,481							
Popa		9,576	0,439							

### 16.5.2. PANTOQUE

Pantoque								
SM	I	$R_C$	$K_B$	s	$I_u$	$\sigma_d$	$N_B$	E
86,145	143,506	1	83,3	1,419	0,802	65,25	26040	9820



**16.5.3. QUILLA**

<i>Quilla</i>												
SM	$A_w$	I	$R_c$	$K_B$	s	$I_u$	$\sigma_d$	$k_{sa}$	$\tau_d$	$\tau_u$	$N_B$	E
121,502	21,290	244,554	1	83,3	1,371	0,969	65,25	7,5	34,6	69,2	26040	9820

## 17.- ANEXO IV. ESTIMACIÓN DE PESOS

### 17.1.- SÍMBOLOS

<i>Símbolos</i>		
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>
<b>m</b>	Masa	kg
<b>KG</b>	Posición vertical del centro de gravedad	m
<b>XG</b>	Posición longitudinal del centro de gravedad	m
<b>LCG</b>	Posición transversal del centro de gravedad	m
<b>M<sub>v</sub></b>	Momento vertical	kg·mm
<b>M<sub>l</sub></b>	Momento longitudinal	kg·mm
<b>M<sub>t</sub></b>	Momento transversal	kg·mm

### 17.2.- CÁLCULO DE MOMENTOS

$$M_v = m \cdot KG$$

$$M_l = m \cdot XG$$

$$M_t = m \cdot LCG$$

### 17.3.- CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD

$$KG = \frac{\sum M_v}{\sum m}$$

$$XG = \frac{\sum M_l}{\sum m}$$

$$LCG = \frac{\sum M_t}{\sum m}$$

## 18 . - ANEXO V . PLANOS